

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİŞLİ TASLAKLARININ KAPALI KALIPLA YIĞILMASINDA
KUVVET ve MALZEME AKIŞININ İNCELENMESİ

Mak. Yük. Müh. Tahir ALTINBALIK

95322

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. H. Erol AKATA

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

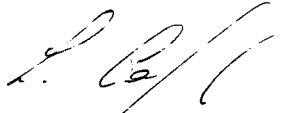
DİŞLİ TASLAKLARININ KAPALI KALIPLA YIĞILMASINDA KUVVET VE
MALZEME AKIŞININ İNCELENMESİ

Mak. Y.Müh. Tahir ALTINBALIK

DOKTORA TEZİ

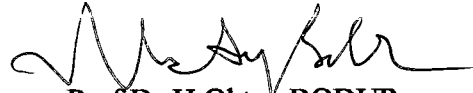
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu tez 27 / 03 / 2000 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.



Prof.Dr. Levon J. ÇAPAN

Jüri Üyesi



Prof.Dr.H.Oktay BODUR

Jüri Üyesi



Prof.Dr.H.Erol AKATA

Danışman



Y.Doç.Dr. Yılmaz ÇAN

Jüri Üyesi

İÇİNDEKİLER

Önsöz	i
Özet	ii
Abstract	iii
Şekil Listesi	iv
Tablo Listesi	ix
Sembol Listesi	x

BÖLÜM 1. ÜRETİM KAVRAMI

1.1. Giriş	1
1.2. Üretim	2
1.2.1. Üretim Malzemeleri	3
1.2.2. Üretim Yöntemleri	4
1.2.3. Üretim Yöntemlerinin Sınıflandırılması	5
1.3. Üretim Yöntemi Olarak Plastik Şekil Verme	8

BÖLÜM 2. DIŞLI POMPA DIŞLI ÇARKLARI VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ

2.1. Dişli Pompalar	12
2.2. Dişli Çark Mekanizmaları	13
2.2.1. Dişli Teknolojisinin Gelişimi	14
2.2.2. Modern Dişli Teknolojisinin İhtiyaçları	15
2.2.3. Dişli Üretim Prosesleri	17

2.2.3.1. Talaşlı İmalat Yöntemleri	18
2.2.3.1.1. Azdırma ile İmalat	19
2.2.3.1.2. Modül Freze ile İmalat	19
2.2.3.1.3. Yüzey Frezeleme	22
2.2.3.1.4. Form Frezeleme	22
2.2.3.1.5. Form Taşlama	22
2.2.3.1.6. Traşlama (Raspa lama)	24
2.2.3.1.7. Broşlama	25
2.2.3.1.8. Elektroerozyon ve Tel Erozyonu	25
2.2.3.2. Çapaksız Yöntemler	25
2.2.3.2.1. Haddeleme	25
2.2.3.2.2. Toz Metalurjisi	26
2.2.3.2.3. Döküm	27
2.2.3.2.4. Hassas Dövme	27
2.2.3.2.4.1. Soğuk Hassas Dövme	28
2.2.3.2.4.2. Ilık Hassas Dövme	29
2.2.3.2.4.3. Sıcak Hassas Dövme	29
2.2.4. Dişli Hasar Tipleri	30
2.2.4.1. Karıncalanma (Yenme)	30
2.2.4.2. Aşınma	31
2.2.4.3. Gözeneklilik	32

2.2.4.4. Plastik Şekil Değişimi	33
2.2.4.5. Kırılma	34

BÖLÜM 3.KONUNUN ÖNEMİ, ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR VE ÇALIŞMA PLANI

3.1. Giriş	35
3.2. Dişli Taslak Üretimi	35
3.2.1. Talaşlı İşleme	36
3.2.2. Yığma	37
3.2.3. Sürtünme Kaynağı ile Birleştirme	37
3.2.4. Ekstrüzyon	37
3.3 Kapalı Kalıpla Çapaksız Dövme Yöntemiyle Dişli Taslak Üretimi	38
3.3.1. Kapalı Kalıpla Çapaksız Dövme	38
3.3.2. Kapalı Kalıpla Yığma (Kafa Şişirme)	40
3.4. Önceki Çalışmalar	43
3.5. Çalışma Planı	45

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA PROSEDÜRÜ

4.1. Yığma Kalıplarının Tasarım ve İmalatı	48
4.2. Yığma Deneyleri	53
4.2.1. Kranklı Mekanik Pres ile Gerçekleştirilen Deneyler	54

4.2.1.1. Deney Parçası Malzemesi	57
4.2.1.2. Deney Malzemesinin Mekanik Özellikleri	57
4.2.2. Hidrolik Pres Deneyleri	58
4.3. Tek Diş Üzerinden Eğilme Yorulması Deneyleri	63
4.3.1. Amaç	63
4.3.2. Standart Yorulma Numunesi ile Tek Diş Deneyinde Yorulma Dayanımları Açısından Farklar	63
4.3.3. Yükleme Noktası	64
4.3.4. İşletme Şartlarında Dişler	65
4.3.5. Tek Diş Temasında Maksimum Kuvvet Noktasının Yerinin Tespiti	66
4.3.6. Test Makinesi ve Aparatları	67
4.3.7. Yorulma Deneyleri	70

BÖLÜM 5. KUVVET VE ENERJİ YAKLAŞIMLARI

5.1. Giriş	73
5.2. Serbest Yığılma İşleminde Kuvvet Hesaplanması (SY)	75
5.3. Üst Sınır Analizi (ÜSA)	78
5.3.1. Üst Sınır Analizinin Formülasyonu	80
5.3.1.1. Deformasyon Enerjisi	80
5.3.1.2. Hız Süreksizliği Enerjisi	83
5.3.1.3. Sürtünme Enerjisi	84
5.4. İnce Kesitlerin Yığılması (İKY)	85

5.4.1. İnce Kesitlerin Yığılmasında Kalınlığın Kuvvet İhtiyacı Üzerine Etkisi	86
---	----

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

6.1. Dişli Taslak Dövme Sonuçları	92
6.1.1. Seri Üretim Taslak Dövme Boyut Ölçüm Sonuçları	92
6.1.2. Kuvvet Ölçüm Sonuçları	92
6.1.2.1. Yığılmış Dişli Taslakların Üst Sınır Analizi	92
6.1.2.2. Kranklı Mekanik Pres Deneyleri Kuvvet Ölçüm Sonuçları	100
6.1.2.3. Hidrolik Pres Deneyleri Kuvvet Ölçüm Sonuçları	116
6.1.3. Evolvent Profili ve İstikamet Sapması Ölçüm Sonuçları	125
6.1.4. Zaman ve Maliyet Analizi	129
6.1.5. Eğilme Yorulması Deneyi Sonuçları	134
SONUÇLAR ve TARTIŞMA	138
KAYNAKLAR	141
ÖZGEÇMİŞ	145

ÖNSÖZ

Gelişen teknolojiyle birlikte rekabet kavramı, her alanda olduğu gibi imalat sektöründe de önemli bir unsurdur. Burada amaç, arzulanan ürün veya yarı ürünün en ekonomik olarak en kısa sürede üretilmesidir. Üretim yöntemleri yelpazesinde çok geniş yere sahip “Talaşlı Şekil Verme” ve “Kapalı Kalıpla Dövme” yöntemlerinin, dişli pompa dişli taslaklarının üretiminde çeşitli bakımlardan karşılaştırıldığı bu çalışma, hem seri imalat şartlarında hem de laboratuvar ortamında gerçekleştirilerek kuvvet analizi, maliyet analizi(malzeme-zaman), malzeme akışı ve yorulma özellikleri incelenmiştir.

Bu tezin deneysel çalışmaları sırasında, kalıp hazırlama ve numune temini konusunda madden yardımcı olan, ayrıca zaman ve maliyet etüdü için gerekli olan verileri sağlayan HEMA ENDÜSTRİ A.Ş.’ye; dişli taslaklarının seri üretim koşullarında dövülmesi sırasında başta pres olmak üzere çeşitli imkanlarını kullandığım ULU-EL PRES DÖKÜM SAN. ve TİC. A.Ş.’ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Değerli fikirlerinden yararlandığım sevgili arkadaşım Yrd. Doç. Dr. Yılmaz ÇAN’a gönülden teşekkür ederim.

Sanırım teşekkürlerin en büyüğü 1992’den beri önce Yüksek Lisans Tezimde sonra da sunulan bu tezde benimle uğraşan, yardımlarını ve manevi öğütlerini benden esirgemeyen, tezin yöneticisi Prof. Dr. H. Erol AKATA’ya olacaktır.

Şubat 2000

Tahir ALTINBALIK

ÖZET

Bilindiği gibi bir makine elemanını farklı yöntemlerle üretmek mümkündür. Üretim yöntemlerinin seçilmesinde mekanik özellikler, üretim hızı ve sayısı, ekonomiklik gibi pek çok kriter göz önüne alınır. Üretim yöntemlerinden olan kapalı kalıpla dövme sağladığı mekanik özellikler, üretim zamanı ve iyi yüzey kalitesi gibi avantajlarından dolayı sanayimizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntem aynı zamanda yıllardır yapılagelen kuvvet tahmini analizi gibi akademik çalışmaların da temelini oluşturmaktadır.

Dişli taslak üretiminde talaşlı şekil verme, kapalı kalıpla dövme, sürtünme kaynağı ve ekstrüzyon gibi üretim yöntemleri kullanılabilir. Türk Teknoloji Geliştirme Vakfı tarafından maddi olarak desteklenen bir projenin bir bölümünü oluşturan bu çalışmada bir sanayi kuruluşumuzun talaşlı şekil verme ile üretmekte olduğu dişli pompa dişli taslakları, dizayn edilen bir kalıp yardımıyla seri üretim koşullarında dövülerek elde edilmiş ve üretim zamanı ile malzeme kayıpları araştırılmış, ayrıca kuvvet analizi yapılmıştır.

Deneyler sonunda işleme zamanı ve malzeme kayıpları açısından dövme yönteminin üstün olduğu gösterilmiştir. Yapılan kuvvet analizleri ile ölçülen kuvvetler arasında yakın ilişkinin görüldüğü çalışmalarda, ısıtılmış durumda dövülerek elde edilmiş dişlilerde yorulma dayanımı açısından önemli artışlar gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Dövme, Ekstrüzyon Tipi Dövme, Üst Sınır Analizi, Dişli Taslak

ABSTRACT

As it is known that a machine element can be produced in different methods. Mechanical properties of product , production rate and capacity and economical factors are to be considered when choosing the method of production. Closed-die forging, which is one of the most used production method is predominantly used in industry because of its advantages such as good mechanical properties, relatively short production time and better surface quality. The method also has been used to analysis the load and energy requirement calculations in academically studies.

Machining, closed-die forging, friction welding and extrusion processes are used in production of gear blanks. In this study, which is a part of project sponsored by TTGV, gear pump blanks produced by machining in an eminent industrial company was forged in mass production conditions by a newly designed die and production time and material waste were investigated, load requirement analysis was carried out.

The experiments shown that forging method is offers in terms of production time and material waste. A good agreement was found between the predicted values of the forging load and those obtained from the experimental results. A forged gear which is machined from forged blank, without heat treatment shown reasonable increase in fatigue strength.

Key Words: Forging, Extrusion Forging, Upper Bound Analysis, Gear Blank

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Üretim Yöntemleri	4
Şekil 1.2. Bir Civatanın Değişik Üretim Yöntemleriyle Üretilmesi	7
Şekil 1.3. Etkin Gerilme Türüne Göre Plastik Şekil Verme Yöntemleri	10
Şekil 2.1. Dış Dişli Pompa	12
Şekil 2.2. Mevcut Dişli Pompa Dişli Çarklarının Üretim Süreci	13
Şekil 2.3. Dişli Üretim Proseslerinin Sınıflandırılması	18
Şekil 2.4. Azdırma Çakısı	20
Şekil 2.5. Modül Freze ile İmalat	21
Şekil 2.6. Disk Şekilli Form Freze Bıçağı ile Dişli İmalı	23
Şekil 2.7. Form Taşlama	23
Şekil 2.8. Traşlama esnasında Bıçak Dişi ile Çark Dişinin Kavrama Durumu	24
Şekil 2.9. Haddeleyerek Dişli İmalinin Şematik Gösterimi	26
Şekil 2.10. Karıncalanma (Yenme)	31
Şekil 2.11. Düz Bir Dişli Üzerinde Tipik Aşınma	32
Şekil 2.12. Gözeneklilik	33
Şekil 2.13. Klasik Eğilme Yorulması Sonucu Diş Dibi Kırılması	34
Şekil 3.1. Dişli Pompa Dişli Taslakları Alternatif Üretim Yöntemleri	36
Şekil 3.2. Talaşlı Şekil Verme Yöntemiyle Dişli Taslağı Üretimi	36
Şekil 3.3. Yığma Yöntemiyle Dişli Taslağı Üretimi	37
Şekil 3.4. Sürtünme Kaynağı Yöntemiyle Dişli Taslağı Üretimi	37
Şekil 3.5. Ekstrüzyon Yöntemiyle Dişli Taslağı Üretimi	38
Şekil 3.6. Kapalı Kalıpla Çapaksız Dövme	38
Şekil 3.7. Birinci Yığma Kuralı	41
Şekil 3.8. İkinci Yığma Kuralı	42

Şekil 3.9. Üçüncü Yığma Kuralı	42
Şekil 3.10. TTGV-126/D Projesi Çalışma Konuları	46
Şekil 4.1. Deneysel Çalışmada Esas Alınan Dişli Taslak Geometrisi	48
Şekil 4.2. Deney Numunesinde Yığılacak Kısımın Şematik Gösterimi	49
Şekil 4.3. Birinci Kademe Sonunda Yığılmış Parça Geometrisi	50
Şekil 4.4. Dişli Taslağı Dövme Kalıpları	51
Şekil 4.5. Kranklı Sıcak Dövme Presinin Çalışma Mekanizması	54
Şekil 4.6. Kranklı Preslerde Koç-Krank Mekanizması ve Kuvvet Ölçme Düzeneği	55
Şekil 4.7. INSTRON 2620-602 Dinamik Ekstansometre	56
Şekil 4.8. Hidrolik Pres	59
Şekil 4.9. Deneylerde Kullanılan Kalıp Düzeneği	59
Şekil 4.10. Tekrar Deneylerinde Kullanılan Kalıp Düzeneği Şeması	60
Şekil 4.11. Kuvvet Ölçme ve Kalibrasyon Devresi	62
Şekil 4.12. Bir Dişli Çiftinin Çalışır Haldeki Temas Durumu	65
Şekil 4.13. Maksimum Kuvvet Noktasının Yerinin Tespiti	67
Şekil 4.14. INSTRON 8501 Üiversal Test Cihazı	68
Şekil 4.15. Tek Diş Üzerinden Eğilme Yorulması Deney Düzeneği	68
Şekil 4.16. Tek Diş Üzerinden Eğilme Yorulması Deney Aparatları	69
Şekil 4.17. Tek Dişin Şematik Olarak Yükleme Durumu	70
Şekil 4.18. Yorulmada Kullanılan Değişkenlerin Tanımı	71
Şekil 4.19. Yorulma Deneylerinde Uygulanan Yükleme Halleri Örneği	72
Şekil 5.1. Yığma İşleminde Bir Hacim Elemanındaki Gerilme Hali	75
Şekil 5.2. Üst Sınır Analizinin Genel Şeması	79
Şekil 5.3. Hızların Bölge Değiştirmesi	83
Şekil 5.4. Plaka Geometrisi ve Birim Elemandaki Gerilme Dağılımı	87

Şekil 5.5. Büyük Sürtünme Katsayıları Halinde Plakanın Yüzey Tabakasındaki Gerilme Hali	89
Şekil 6.1. Yığılmış Taslaklarda Ölçüm Büyüklükleri ve Çalışma Sonuçlarından Örnekler	95
Şekil 6.2. Üst Sınır Analizi Yöntemi için Deformasyon Bölgeleri	96
Şekil 6.3. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması	102
Şekil 6.4. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması	103
Şekil 6.5. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması	104
Şekil 6.6. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması	105
Şekil 6.7. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması	106
Şekil 6.8. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması	107
Şekil 6.9. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması	108
Şekil 6.10. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması	109
Şekil 6.11. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması	110
Şekil 6.12. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması	111
Şekil 6.13. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması	112

Şekil 6.14. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması	113
Şekil 6.15. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması	114
Şekil 6.16. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması	115
Şekil 6.17. Yığılmış Parçalara “İnce Kesitlerin Yığılması” Yaklaşımının Uygulanması	116
Şekil 6.18. Farklı Yığma Miktarları için SY, ÜSA ve İKY Yaklaşımlarının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması	118
Şekil 6.19. Farklı Yığma Miktarları için SY, ÜSA ve İKY Yaklaşımlarının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması	119
Şekil 6.20. Farklı Yığma Miktarları için SY, ÜSA ve İKY Yaklaşımlarının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması	120
Şekil 6.21. Farklı Yığma Miktarları için SY, ÜSA ve İKY Yaklaşımlarının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması	121
Şekil 6.22. Farklı Yığma Miktarları ve Farklı Sürtünme Katsayıları için Serbest Yığma(SY) Yaklaşımının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması	122
Şekil 6.23. Farklı Yığma Miktarları ve Farklı Sürtünme Katsayıları için İnce Kesitlerin Yığılması(İKY) Yaklaşımının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması	123
Şekil 6.24. Farklı Yığma Miktarları ve Farklı Sürtünme Katsayıları için Üst Sınır Analizi(ÜSA) Yaklaşımının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması	124
Şekil 6.25. Evolvent Profil ve İstikamet Ölçüm Test Cihazı ile Yazıcı	126
Şekil 6.26. Yazıcı Çıkışında Örnekler	127
Şekil 6.27. Taslakların İşlendiği CNC Tezgahları	129

Şekil 6.28. Talaşlı Şekil Verme Yöntemi için Talaş Pasoları	130
Şekil 6.29. Yığma ile Üretilmiş Parçada Talaş Pasoları	130
Şekil 6.30. Taslakların Dişli Haline Getirildiği Azdırma Tezgahları	132
Şekil 6.31. Muylu ve Yanak Taşlama Tezgahı	133
Şekil 6.32. Yorulma Deneyine Tabi Tutulan Deney Parçalarının Wöhler Diyagramları	135
Şekil 6.33. Dövülmüş Deney Parçalarında Malzeme Akışı	136
Şekil 6.34. Yorulma Numunelerinin Deney Sonrası Görünüşleri	137



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Üretim Aşamaları ve İçerikleri	2
Tablo 1.2. Üretim Yöntemlerinin Sınıflandırılması	5
Tablo 4.1. Yığma Kalıpları Tasarımında Esas Alınan Taslak Büyüklükleri	49
Tablo 4.2. 1.2344 Sıcak İş Takım Çeliğinin Kimyasal Bileşimi	53
Tablo 4.3. Deney Malzemelerinin Kimyasal Analizi	57
Tablo 6.1. Seri Üretim Dövme Dişli Taslak Boyut Ölçüm Sonuçları	93
Tablo 6.2. Bölgelere Göre Hız Alanları	97
Tablo 6.3. 1. ve 6. Tip Pompa Dişlileri için Evolvent Profil ve İstikamet Sapması Ölçüm Sonuçları	128
Tablo 6.4. Kütükten Tornalama ve Dövme Taslaktan Tornalama için Malzeme Kayıpları	131
Tablo 6.5. Yorulma Numunelerine Uygulanan Kuvvet ve Eğilme Gerilmesi Değerleri	134

SEMBOL LİSTESİ

r, θ, z	: Silindirik Koordinatlar
$\sigma_a, \sigma_f, \sigma_o$	: Akma Sınırı
σ_φ	: Çekme Gerilmesi
ε	: Genleme
$\dot{\varepsilon}$	: Genleme Hızı
h	: Yükseklik
s	: Strok
V_o, V	: Koç Hızı
C, m	: Sıcaklığa Bağlı Katsayı
R_{di}	: Dışüstü Yarıçapı
R_{yu}	: Yuvarlanma Dairesi Yarıçapı
R_{te}	: Temel Dairesi Yarıçapı
R_c	: Maksimum Yükleme Noktasının Dişli Merkezine Uzaklığı
F, F_t	: Kuvvet
$\sigma_{eğ}$	: Eğilme Gerilmesi
$M_{eğ}$	: Eğilme Momenti
$W_{eğ}$	: Eğilme Mukavemet Momenti
σ_{ort}	: Ortalama Gerilme
σ_{alt}	: Alt Gerilme
$\sigma_{üst}$	: Üst Gerilme
σ_g	: Gerilme Genliği
σ_r	: Radyal Gerilme
σ_h	: Hidrostatik Gerilme Bileşeni
σ_θ	: Teğetsel Gerilme
σ_z	: Eksenel Gerilme
τ_s, τ	: Kayma Gerilmesi

τ_R	: Sürtünmeye Bağlı Kayma Gerilmesi
E_T	: Toplam Enerji
E_D	: Deformasyon Enerjisi
E_{vd}	: Hız Süreksizliği Enerjisi
E_f	: Sürtünme Enerjisi
E_t	: Çekme Enerjisi
u^*	: Hız Süreksizliği
Δu	: Relatif Hız
ω	: Birim Hacim için Birim Zamandaki Güç
S_{ij}	: Gerilme Deviator Tansörü
ε_{ij}	: Genleme Hızı Deviator Tansörü
δ_{ij}	: Birim Tensör
k	: Basit Kaymada Akma Sınırı
P, p	: Yüzeyler Arası Basınç
μ	: Sürtünme Katsayısı
m	: Arayüzey Kayma Faktörü
t_o, t	: Disk Kalınlığı
r_{kr}	: Kritik Yarıçap
A_r	: Sürtünme Yüzeyi
A_s	: Hız Süreksizliği Yüzeyi

BÖLÜM 1.

ÜRETİM KAVRAMI

1.1 GİRİŞ

İnsanoğlu tarihin eski çağlarından itibaren çeşitli aletler kullanarak hayatını daha kolaylaştırmaya ve güzelleştirmeye çalışmıştır. Bu amaçla öncelikle doğada doğrudan bulduğu malzemeleri kullanmış, daha sonraları ise geliştirdiği yöntemleri kullanarak yeni malzemeler üretmiş ve bunları kullanmaya başlamıştır. Sanayi devrimiyle birlikte üretimin daha büyük miktarlarda yapılması anlayışı öne çıkmış, böylece makineleşme yaygınlaşarak çeşitli modern üretim yöntemlerinin oluşturulması sağlanabilmiştir.

Ülkemizdeki sanayileşme çalışmaları özellikle Cumhuriyetle birlikte hızlanmış ve küçümsenemeyecek atılımlar yaparak önemli başarılarla imza atmıştır. Önceleri gümrük duvarlarıyla yapılan koruma, 1996 Avrupa Gümrük Birliğiyle birlikte ortadan kalkmıştır. Bunun sonucunda yerli üreticilerin rekabet gücünü koruyabilmeleri, yapacakları araştırma-geliştirme çabalarına ve bunların başarılarına bağlı hale gelmiştir. Bu durum, henüz tatmin edici seviyede olmasa da sanayi kuruluşlarının Tübitak ve Üniversitelerle çeşitli biçimlerde ilişkiye girmelerini zorlamaya başlamıştır. Sunulan tez, bir sanayi kuruluşunun üretim maliyetlerini düşürmeyi amaçlayan çalışmalara yardımcı olmak üzere yürütülmüştür.

1.2. ÜRETİM

Sanayi anlamı ile üretim, eldeki hammaddenin işlenerek istenilen özellik ve biçimdeki bitmiş ürün haline getirilme süreci olarak tanımlanır (Goetsch, D., 1991).

Üretimin birbirinden farklı 3 aşaması mevcuttur:

- 1) Başlangıç (Hammadde)
- 2) Proses (Süreç)
- 3) Sonuç (Ürün)

Bu bölümlerin içerikleri Tablo 1.1’de sunulmaktadır.

Tablo 1.1 Üretim Aşamaları ve İçerikleri

ÜRETİM		
BAŞLANGIÇ	PROSES	SONUÇ
• Talep • Materyal • Sermaye • Enerji • Zaman • İnsan Kaynakları	• Dizayn • Planlama • İşleme • Yönetim • Pazarlama	• Alıcıya Ulaşım • Tamamlayıcı Ürünler • Kullanım Konusunda Bilgilendirme

İlk madde, pazarlanabilir bir ürün elde edebilmek için gerekli olan tüm şartları kapsar. Ancak doğaldır ki ürün için öncelikle bir talep veya ihtiyaç olmalı ve bu talep

yatırım maliyetlerini karşılamalıdır. Ürün tüm ülkenin ihtiyacını karşılayacak halde iken bile yatırım maliyetlerini karşılayamıyorsa üretimin gerçekleşmesi söz konusu değildir. Bu şart sağlanırsa gerekli materyale bir şekilde ulaşılır. Üretime geçmeden fizibilite çalışması yapılması gereken diğer alt kısımlar ise enerji kaynakları, zaman ve insan kaynakları olarak sıralanabilir.

Proses aşaması da çeşitli kısımlara ayrılır. İlk karşımıza çıkan kısım dizayndır. Dizayn temel hareket noktası seçilerek değişik planlar gerçekleştirilir ve bunlar proses aşamasının işleme kısmında yerine konur. Kaynakların ve prosesin doğru yönetilmesi verimlilik ve üretkenliğin artırılması bakımından oldukça önemlidir. Prosesin son kısmını pazarlama oluşturur. 3. ve son aşama ürün aşamasıdır. Bu aşamanın ilk kısmı ürünün alıcıya ulaştırılmasıdır. Ürünün niteliğine bağlı olarak tamamlayıcı diğer ürünler tarafından desteklenmesi gerekebilir. Yine ürünün kullanma karmaşıklığına bağlı olarak kullanım konusunda bilgilendirme bölümüne ihtiyaç duyulabilir.

1.2.1. Üretim Malzemeleri

Mühendislikte kullanılan malzemeler temel olarak iki kısma ayrılır. Bunlar Metal Esaslı Malzemeler ve Metal Dışı Malzemeler'dir. Metal esaslı malzemeler;

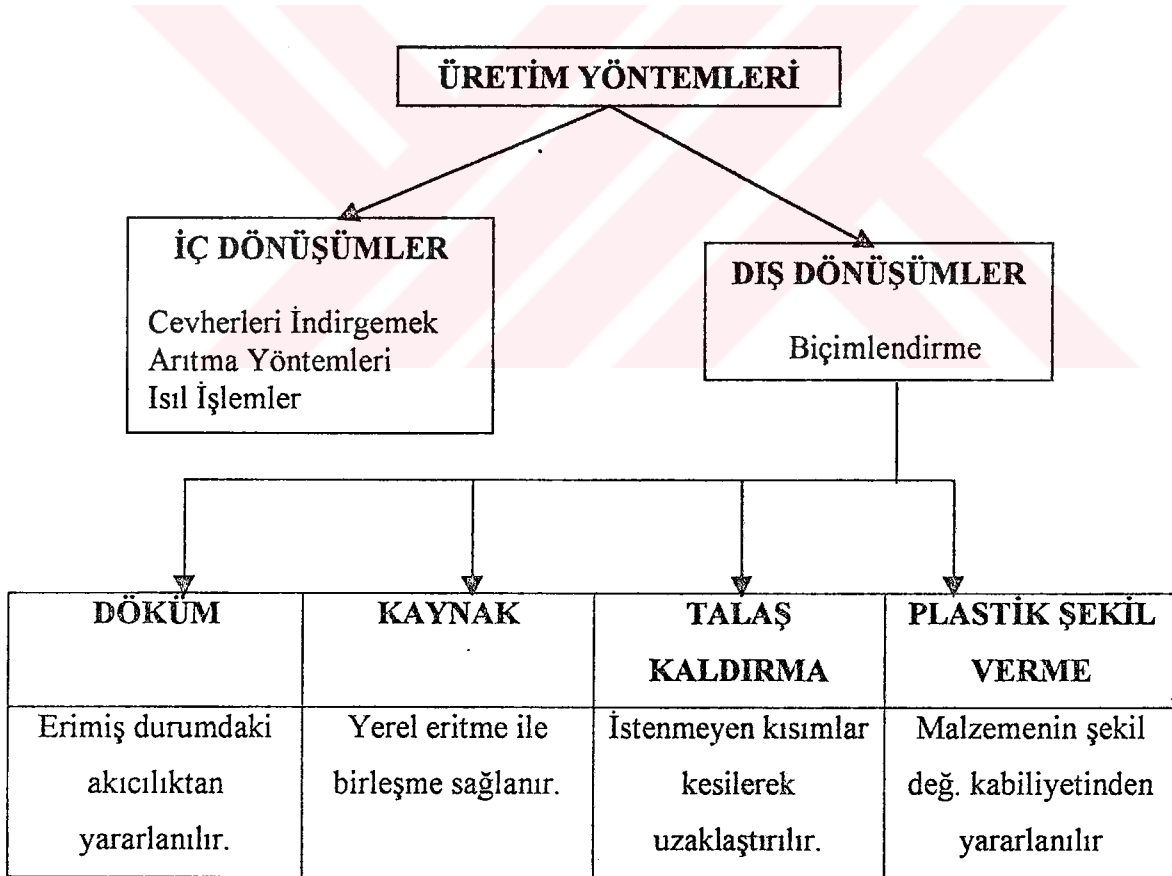
- Demir esaslı metaller
- Demir dışı metaller
- Yüksek alaşımlı metaller
- Toz metaller

olarak dört bölüme ayrılırken, metal dışı malzemeler ise

- Plastikler
- Elastomerler
- Kompozitler
- Seramikler ve Camlar, şeklinde sıralanabilir.

1.2.2. Üretim Yöntemleri

Günümüz insanının yaşam standardında son 50 yılda sağlanan olağanüstü artış, büyük ölçüde yüksek kaliteli ürünlerin tasarımı ile bunların seri ve ucuz olarak üretimini sağlayan yöntemlerin geliştirilmesi sayesinde olmuştur. Üretim yöntemlerini tanımak, günümüzde sadece makine mühendisleri için değil bütün mühendislik disiplinleri için kaçınılmaz bir zorunluluktur. Mühendisler her bir üretim yönteminin imkanlarını, üstünlüklerini ve sınırlarını tanıyarak amaçladıkları tasarıma en ucuz ve doğru olarak ulaşmak için gerekli bilgileri edinmek zorundadırlar. Mühendislik disiplini içinde üretim yöntemlerini iç ve dış dönüşümler olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Şekil 1.1.'de üretim yöntemleri ile ilgili bilgiler gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Üretim Yöntemleri (Aran, A., 1993)

1.2.3. Üretim Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Yukarıda bahsedilen üretim yöntemlerinin genel olarak bir sınıflandırmasını yapmak istediğimizde temel olarak 6 grubun var olduğu görülmektedir. Üretim yöntemlerinin sınıflandırılması Tablo 1.2.'de gösterilmiştir (Lange, K., 1985).

Tablo 1.2. Üretim Yöntemlerinin Sınıflandırılması

	Bağ Oluşturma	Bağın Arttırılması	Bağın Kopartılması	Bağın Büyütülmesi
ÜRETİM YÖNTEMİ GRUPLARI	Grup 1 Birincil Biçimlendirme	Grup 2 Şekil Değiştirme	Grup 3 Ayırma	Grup 4 Birleştirme Grup 5 Kaplama Grup 6 Malzeme özelliklerinin değiştirilmesi yani partiküllerin a) İlavesi b)Uzaklaştırılması c) Düzenlenmesi

Grup 1. Birincil Biçimlendirme

Bu grup içinde gaz veya sıvı halden veya belirsiz rasgele şekilli katı parçacıklardan orijinal (birincil) şeklin yaratılması, başka bir deyişle de malzeme parçacıkları arasındaki bağıntıların oluşturulması ile ilgili üretim yöntemleri anlaşılır.

Bu grup üretim yöntemlerine döküm, toz metalurjisi ve kompozit malzeme imalinde kullanılan bir takım özel teknikler girer.

Grup 2. Şekil Değiştirme

Belirli şekildeki bir katı cismi kütesini veya bileşimini değiştirmeden başka bir şekle dönüştürme yani oluşturulan bağın geliştirilmesi ile ilgili üretim yöntemleri anlaşılır. Plastik şekil verme yöntemleri bu grupta yer alır.

Grup 3. Ayırma

Malzemenin ana küteden kopartılması veya talaşlı biçimlendirme yani bağlantının ortadan kaldırılması ile ilgili üretim yöntemleri anlaşılır. Taşlama ve talaşlı şekil verme bu grupta yer alır.

Grup 4. Birleştirme

Çeşitli ve ayırık iş parçaları arasında bağlantı oluşturarak başka iş parçaları veya elemanlar oluşturmak ile ilgili üretim yöntemleri anlaşılır. Kaynak, lehim ve yapıştırma bu gruba girer.

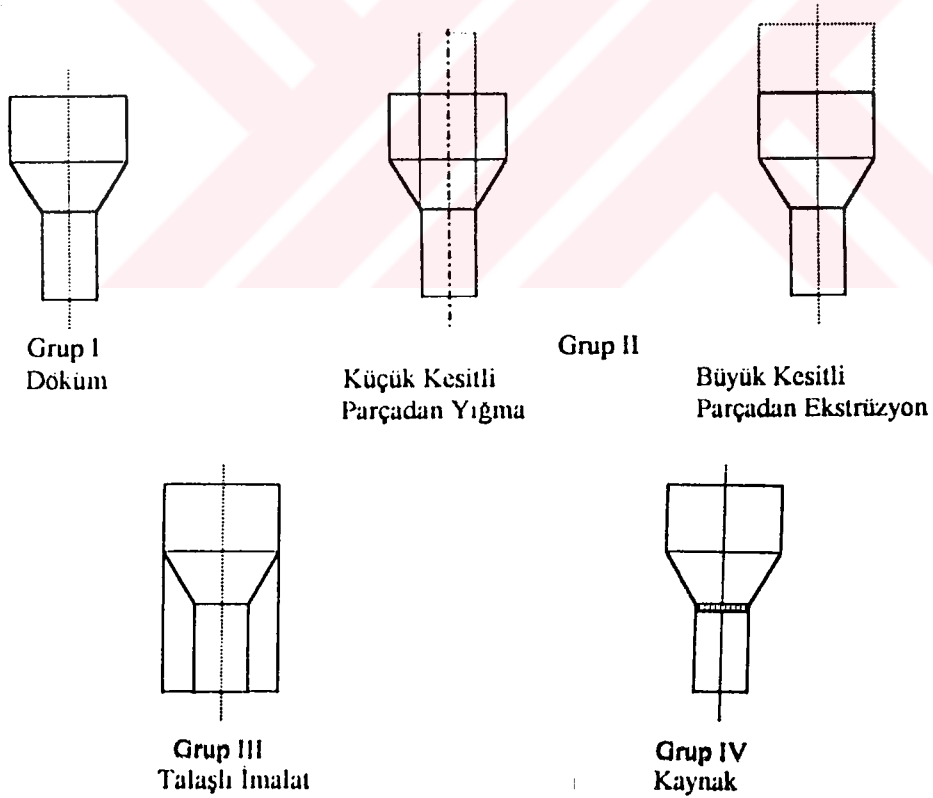
Grup 5. Kaplama

İş parçasına galvaniz çekme, boyama ve plastik tabakalar kaplama gibi ince tabakalar uygulayarak iş parçası ile kaplama malzemesi arasında bağ oluşturmak söz konusu olur.

Grup 6. Malzeme Özelliklerinin Değiştirilmesi

Üretim yönteminin belli bir aşamasında iş parçasında optimum özellikler elde etmek amacıyla malzeme özelliklerinin değiştirilmesi anlaşılır. Bu yöntemlerde difüzyon benzeri mekanizmalarla malzemeden parçacıklar çıkarmak, parçacıklar ilave etmek veya parçacıkların yeniden düzenlenmesi ile ilgili işlemler anlaşılır.

Üretim teknolojisinde 1-4 arasında yer alan gruplarda belirli bir parçanın gerekli toleranslar ve yüzey koşullarında ve malzeme özelliklerinden en ekonomik olarak yararlanmak kaydıyla ne şekilde elde edilebileceği problemi ile karşı karşıya kalınır. Bu aşamada, üretim miktarına ve üretim şartlarına bağlı olmaksızın basit bir civatanın ilk dört grup üretim yöntemi kullanılarak üretilebileceği örneğini verebiliriz.



Şekil 1.2. Bir Civatanın Değişik Üretim Yöntemleriyle Üretilmesi (Lange, K., 1985)

1.3. ÜRETİM YÖNTEMİ OLARAK PLASTİK ŞEKİL VERME

Bir katı cismin şeklini başka bir şekle dönüştürmek amacıyla uygulanan ve bu işlem sırasında cismin malzemesinde kütle ve bileşim değişikliğine yol açmayan üretim yöntemlerine plastik şekil verme yöntemleri denir.

Karbonlu ve alaşımlı çelikler, alüminyum, çinko, bakır ve bunların alaşımları gibi demir dışı malzemeler plastik şekil verme yöntemleri ile şekillenebilmektedir.

Malzemelere plastik şekil vererek üretim sağladığı yüksek mekanik özellikler, yüksek üretim hızı, iyi yüzey kalitesi, dar tolerans aralıkları, düşük parça başı maliyet ve hemen her şekilli parçanın üretilebilmesi gibi avantajları nedeniyle en çok tercih edilen üretim yöntemlerinin başında yer almaktadır.

Aşağıdaki liste plastik şekil değiştirme ile üretilen iş parçalarının en önemli uygulama alanlarını teknik önemi ile birlikte vermektedir.

- 1) Otomobil parçaları ve makine takımları yapımında kullanılması (Burada metal biçimlendirme hafif alaşımların dizaynının gelişiminde önemli bir bağ oluşturmaktadır.)
- 2) Çekiçler, tornavidalar, el takımları ve tıbbi cihazların yapımında kullanılması
- 3) Cıvata, vida ve perçin gibi bağlama elemanlarının yapımında kullanılması
- 4) Metal kutular ve içecek kutularının yapımında kullanılması
- 5) Tünel açma ve madencilik kollarında parça üretiminde kullanılması
- 6) İnşaat sektöründe kapı ve pencere tutucuları, kornişler gibi elemanların üretiminde kullanılması

Üretilecek parçaların boyutları ve malzemelerine göre bir takım ayrılıklar görülmesine rağmen plastik şekillendirme yöntemlerinin başlıca karakteristik noktaları şu şekilde sıralanabilir:

1) Şekil değiştirme için gerekli gerilme ve kuvvet değerleri çok büyüktür. Gerilmeler 50-2500 Mpa arasında değişmektedir. İş parçasının tümü veya çok büyük bir kısmı deforme edildiği için gerekli kuvvet değerleri de çok yüksektir. Kullanılan yöntem ve parça büyüklüğüne bağlı olarak 85000 ton'a kadar çıkabilir. Örneğin yüksek kapasiteli bir planyada kesme kuvvetleri ancak birkaç kN'a çıkabildiği halde basit bir kalıpta kesme işlemi için kullanılan küçük bir eksantrik preste en azından 20 kN gibi bir kuvvet söz konusudur.

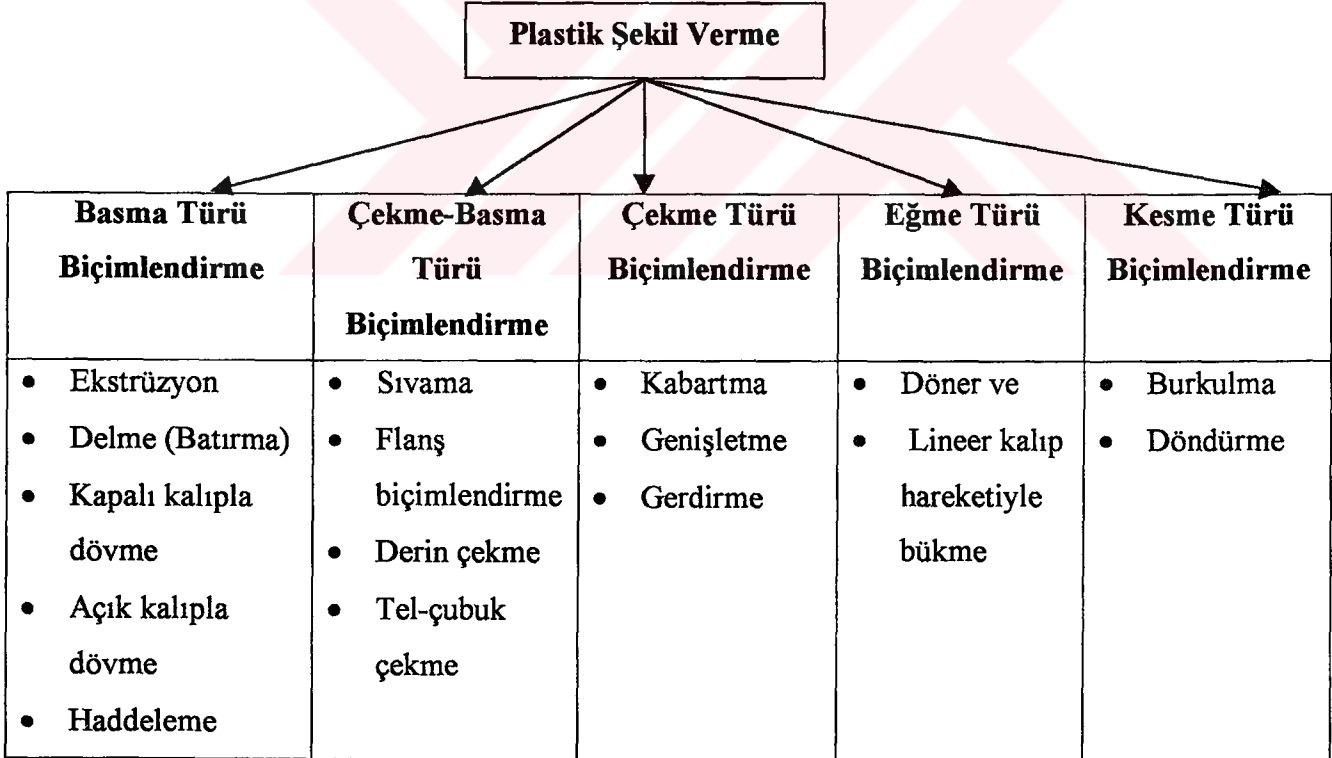
2) Parçaların büyük bir kısmı tamamıyla yeni bir biçim alır. Büyük kuvvetlerle çalışıldığı için takımlar genellikle çok büyük, ağır ve dolayısıyla da çok pahalıdır. Metal biçimlendirme kalıplarının üretimi, iyi donanımlı bir atölyeye ve çok kalifiye elemanlara ihtiyaç duyar. Çünkü kalıp üretimindeki tolerans aralığı oldukça dardır.

3) Kalıp maliyeti kısmı, parça sayısına bağlı olmaksızın halledilmesi gereken bir meseledir. Alet, donanım ve kalıpların pahalı olması nedeniyle üretilecek parça sayısının belli bir minimum değerden fazla olması gerekir. Bu minimum üretim sayısı sağlandığı takdirde şekil değiştirme yöntemleri avantajlı duruma geçer.

Teknolojik çağda parçalardan beklenen özelliklerin değişmesi sonucu değiştirilen birçok yeni malzeme de şekil değiştirme yöntemleri ile biçimlendirilmektedir. Böylece ekonomik ve yüksek kaliteli parça ile biçimlendirme yöntemi birbirine bağlı iki unsur olduğu söylenebilir. Biri geliştikçe diğerini de beraberinde sürükler.

Plastik şekil değiştirme işlemleri başlıca iki gruba ayrılır: Bunlar kütle biçimlendirme ve sac şekillendirme işlemleridir. Kütle biçimlendirmede iş parçası genellikle bütün doğrultularda ve büyük miktarda şekil değiştirerek büyük kesit değişiklikleri ortaya çıkar. Buna karşılık sac şekillendirmede sac parçalar hemen hemen eşit cidar kalınlıklarında içi boş parçaların üretiminde kullanılır. Kütle biçimlendirme işlemleri çok eksenli basma yükleriyle karakterize edilebilir. Karşılaşılan kuvvetler sac şekillendirmeye göre genel olarak oldukça yüksektir. Plastik şekil değişimi, sıcak, ılık ve soğuk şekil verme olarak gerçekleştirilebilir.

Yukarıdaki sınıflamanın dışında biçimlendirme işlemlerindeki etkin gerilme türünün esas alındığı başka bir gruplandırma da söz konusudur. 5 etkin gerilme haline göre hazırlanan bu gruplandırma Şekil 1.3.'te verilmiştir:



Şekil 1.3.Etkin Gerilme Türüne Göre Plastik Şekil Verme Yöntemleri(Lange, K.,1985)

1) Basma türü biçimlendirme işlemleri: Bu gruptaki biçimlendirmelerde iş parçası veya hammadde esas olarak tek veya çok eksenli basma gerilmelerinin etkisi altında şekil değiştirir.

2) Birleşik çekme ve basma türü biçimlendirme işlemleri: Bu başlık altındaki şekillendirme işlemlerinde iş parçasının şekil değişimi esas olarak birleşik tek veya çok eksenli çekme ve basma gerilmelerinin etkisiyle sağlanır.

3) Çekme türü biçimlendirme işlemleri: Bu yöntemlerde iş parçasının şekil değişimi tek veya çok eksenli çekme gerilmeleri etkisinde oluşur.

4) Eğme türü biçimlendirme işlemleri: İş parçasının eğilme gerilmeleri etkisiyle şekil değiştirdiği işlemler bu gruba girer.

5) Kesme türü biçimlendirme işlemleri: Anlaşıldığı üzere, şekillenen iş parçalarında kayma veya kesme gerilmeleri daha etkindir.

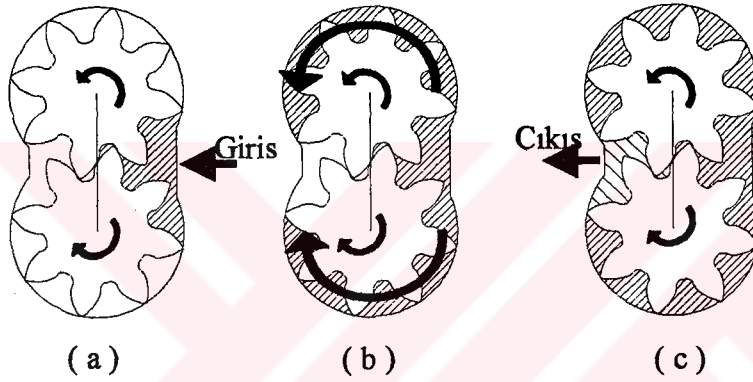
Üretim yöntemleri içinde Plastik Şekil Vermenin yeri ile öneminin ana hatlarıyla ve kısaca açıklandığı bu bölüm, sunulan çalışmanın alanını da belirlemiş olmaktadır. Bölüm 1.2.3 ve Şekil 1.2’de de belirtildiği gibi, herhangi bir parçanın çeşitli yöntemlerle üretilmesi mümkün olduğunda hangi yöntemin seçileceği kararı mevcut olanakların değerlendirilmesiyle birlikte ekonomiklik kaygıları da rol oynar. Bazı durumlarda parçaların tümüyle belirli bir yöntemle üretilmesi yerine değişik üretim yöntemlerinin birbirini takip eden sıralarla kullanılması mümkün ve hatta daha ekonomik olabilir. Sunulan çalışmanın konu parçasını oluşturan “Dişli Pompa Dişli Çarkları” bu duruma çarpıcı bir örnektir. Bu nedenle takip eden bölümde söz konusu parçalar ve üretim yöntemleri açıklanmaktadır.

BÖLÜM 2.

DİŞLİ POMPA DİŞLİ ÇARKLARI VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ

2.1. DİŞLİ POMPALAR

Dış dişli pompalar pozitif deplasmanlı pompalar grubunda yer alır. Bu pompalarda, dişli çarklardan biri dışarıdan döndürülünce diğeri de aksi yönde dönerek akışkanı emme tarafından basma tarafına taşırlar.

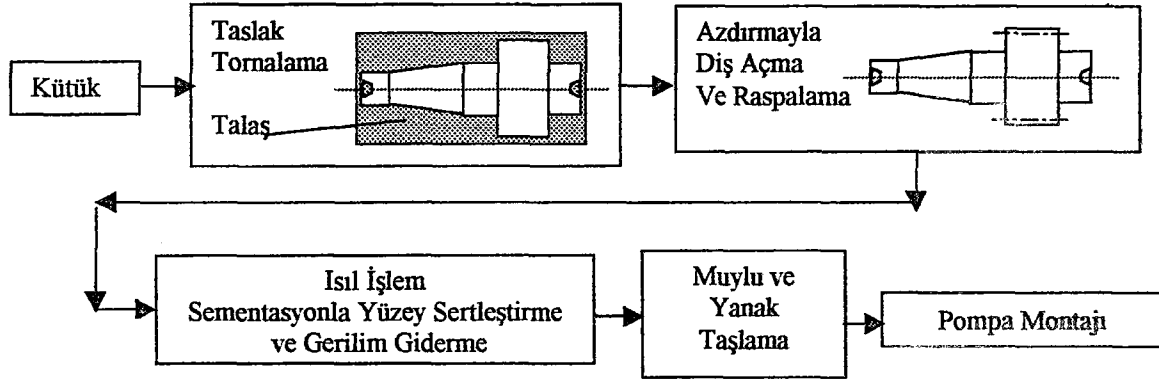


Şekil 2.1. Dış Dişli Pompa. (a) Vakum akışkanı pompaya çeker, (b) Dişliler akışkanı pompa içinde taşır, (c) Akışkan basınç altında pompadan dışarı atılır

Buna göre bir dış dişli pompanın bir devirde iletebildiği akışkan hacmi, devir sayısından bağımsızdır. Buna karşılık, pompa çıkış basıncı büyüdükçe basma tarafından emme tarafına küçük bir miktar da olsa akışkan geçişi olabilir. Buna "kaçak debi" adı verilir ve gerçek debinin, teorik değere göre azalmasına neden olur.

Dişli pompalarda 6 dan 24'e kadar değişebilen diş sayılarında dişli çarklar kullanılabilir. Düz alın dişli çarklardaki gürültü problemine karşılık, helisel alın dişlilerin kullanılabilmesi mümkünse de bu tip dişlilerin üretim ve yataklama güçlükleri nedeniyle genel olarak düz alın dişliler tercih edilmektedir. Destekleyen kuruluştaki

dişli pompa üretimi; dişli taslakları üretimi, dişlerin açılması, dişli çark yüzey sertleştirilmesi, son taşlama, burç(kaymalı yatak) işleme, kapak işleme, gövde işleme, montaj ve alıştırma test aşamalarını kapsamaktadır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Mevcut Dişli Pompa Dişli Çarklarının Üretim Süreci

Dişli pompaların en önemli elemanları olmaları nedeniyle genel olarak “Dişli Çarklar” ve üretim yöntemlerinin öncelikle açıklanması yerinde olacaktır.

2.2. DİŞLİ ÇARK MEKANİZMALARI

Dişli çark mekanizmaları şekil bağlı mekanizmalar olup, kuvvet bağlı makinelerden hem daha az yer kaplarlar hem de senkron bir hız iletimine imkan verirler. Dişli çark mekanizmalarında iki dişlinin eksenleri aynı düzlemde olup birbirlerine paralelse silindirik, kesişiyorsa konik dişli çark olarak isimlendirilir. Eksenler belli bir konumda aynı yerde kalıyorsa adi dişli mekanizmalarından, birinin eksenini sabit iken diğeri bir asal eksen etrafında dönüyorsa planet dişli mekanizmalarından söz edilir (Ulukan, L., 1973).

İşbirliği yapılan kuruluşta üretilen dişli pompa dişlileri düz alın dişli tipindedir. Bu tip dişlilerde dişli ana profil doğrusu eksene paraleldir. Kavramaya giriş bir anda ve

bütün dişli genişliği boyunca olmaktadır. Eksenel kuvvetlerin olmadığı düz dişliler kolayca yataklanmaktadır.

2.2.1. DIŞLI TEKNOLOJİSİNİN GELİŞİMİ

Dişliler hızı arttırmada ya da azaltmada kullanılan en yaygın mekanik güç iletme elemanlarıdır. Aynı zamanda bir pompada emme tarafından dişleri arasına aldıkları akışkanı basma tarafına daha yüksek basınçlarda vermek amacı ile de kullanılırlar. Dişlilerin 4 bin yıldan daha uzun zamandır kullanıldıkları bilinmektedir (Dudley, D. W., 1969).

Mühendisliğin diğer branşlarıyla beraber dişli teknolojisi de giderek ilerlemiş ve 19. Yüzyılın ilk yarısında düz dişleri istenilen evolvent profilini sağlayacak şekilde ve boyut hassasiyetinde işleyen ilk dişli üretim makinesi kullanılmaya başlanmıştır.

Dişlinin bundan sonraki gelişimi dizayn ve üretimi içermektedir. Dişli dizaynı hayli kompleks bir iştir ve dizaynda tüm dişli ve ünitesinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Dişlinin yüksek performans göstermesi için şu şartların göz önüne alınması gerekir:

- Dişlinin görevinin belirlenmesi
- Alternatif dizaynların değerlendirilmesi
- Yorulma modunun analizi
- Servis şartlarının değerlendirilmesi
- Boyutsal doğruluğun optimizasyonu ve diş düzeltme
- Alternatif malzeme ve işlemlerin değerlendirilmesi
- Alternatif üretim proseslerinin değerlendirilmesi

Günümüzde dişlilerin bazı alanlarında, dizayn kriterlerini belirleyen bazı otorite

kuruluşlar vardır ve bunların başında AGMA, DIN ve ISO normları gelmektedir.

Dişli malzemesinin seçiminde dayanım, yağlama koşulları, üretimdeki alternatif yöntemler ve tabii ki toplam maliyet göz önüne alınır. Bununla beraber ihtiyaca cevap verecek malzeme seçimi başlıca şarttır. Örneğin dökme demir karmaşık şekiller ve düşük gerilmelerde, dökme çelik daha yüksek gerilmelerde ve seri üretimin uygun olmadığı durumlarda, dövülmüş ya da haddelenmiş çelik geniş çaptaki özellikleri sağlamak amacıyla, bronz ve diğer demir dışı alaşımlar ise düşük sürtünme ve/veya korozyon dayanımı için tercih edilirler. Demir dışı alaşımların ve kompozitlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Dişli üretiminde diğer pek çok üretim yöntemini kıyaslayabilmek için üretim proseslerinden ve alternatif malzemelerin fayda ve sınırlamalarından haberdar olmak gerekir. Ürün teknolojisi değiştiğinde üretim yöntemi de değişmeli ve ilk dizayn yeniden ele alınmalıdır. Dişlilerin karmaşık doğasından dolayı, hem boyutsal hassasiyetin tam sağlanma zorunluluğu ve hem de dişlerin şeklinin mükemmel olması gerekliliği dişli üretim prosesini özel bir konuma getirmektedir. Bu limitleri sağlayan her proseste istenilen çeşit ve boyutta dişli üretilebilir.

2.2.2. MODERN DİŞLİ TEKNOLOJİSİNİN İHTİYAÇLARI

Mühendislik, bilimle estetiği birleştirme mesleğidir ve optimum ihtiyaçları en düşük maliyetle karşılamayı amaçlar. Kesin bir optimizasyon yapılması imkansız olmakla beraber, optimum dizayn teknolojik şartlara bağlıdır. Teknoloji değiştiğinde malzeme ve ekonomik yol da değişecek ve bir önceki optimizasyon yeniden ele alınacaktır.

Bazı mühendislik parçaları sınır şartlarda çalışma gereksinimi duyar ve uygun malzemenin kullanımı oldukça önemlidir. Bu, üretim metodunun seçimini de etkiler.

Böyle durumlarda önemli olan tatminkar bir ürün olduğundan, ekonomiklik teknik zorlukların aşılma zorunluluğu yanında ikinci planda kalır. Diğer pek çok parça için ise böyle bir zorunluluk ve malzeme ile teknik açıdan bir özel şart yoktur. Bu tip parçalar için üretim metodu, beklenen performansa göre belirlenir.

Genel bir kural olarak, kritik olmayan uygulamalarda kullanılacak parçaların üretim yöntemi için göz önüne alınacak ilk şart ekonomidir. Eğer parçalar biraz ağır şartlarda çalışacaksa bu sefer kullanılacak malzemenin mekanik özellikleri ilk sırayı alır.

Kullanılabilecek malzemelerin çok geniş seçeneklerde sunulması (demir ve demir dışı metaller, takviyeli ve takviyesiz plastikler, plastik ve metallerin kompozitleri, seramik vs.) fonksiyonel performans açısından endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamaktadır.

Malzeme ve proses teknolojisindeki gelişmeler ve CAD/CAM'ın uygulanıyor olması pek çok parçanın dizayn seçeneğini önemli ölçüde arttırmıştır. Maksimum performansın gelişen teknolojiyle beraber artması sanıldığı üzere yalnızca havacılık sektörünü değil, otomobil ve endüstri sektörünü de ilgilendirmektedir.

Görünen odur ki, uzay teknolojisi ve diğer kritik uygulamalar için dişli teknolojisinde artık daha ucuz, daha küçük, daha hafif ve daha dayanıklı dişli imal etme gereği vardır. Dişlilerin uygulama alanları düşük maliyetli oyuncak dişlilerinden pompalara, redüktörlere ve yüksek hassasiyette uzay mekiği dişlilerine kadar değişmektedir. Şu an her türlü dişli üretimi için standart bir yöntem olmakla beraber, zamanla teknoloji değiştikçe endüstriyel rekabet gereği bu üretim yöntemleri de değişecektir. Diğer taraftan bugün otomobil ve endüstri uygulamalarında en önemli gereksinim dişlinin birkaç proses adımıyla bitmesi, olabildiğince ucuz ve aynı zamanda hafif olmasıdır.

En temel ve en eski metal şekillendirme prosesi olan dövme, maksimum dayanım/ağırlık oranına sahip parçaların, malzeme deformasyonunun da kontrol edilerek üretildiği bir yöntemdir. Ancak son yıllarda döküm veya toz metalurjisi ile üretilen parçalar klasik dövme ile üretilenlerin yerini almaya başlamıştır. Bunun başlıca sebepleri, rakip üretim teknolojisinde parça özelliklerinin gelişmesi ancak klasik dövmede malzeme kaybı, düşük boyut hassasiyeti ve yüksek maliyetli dövme sonrası bitirme işlemlerinin olmasıdır.

Dövmenin diğer yöntemlerle rekabeti amacıyla hassas dövme (net veya nete yakın) teknolojisinde önemli gelişmeler olmuştur. Minimum malzeme kaybı ve yüksek boyutsal tolerans net dövmenin başlıca avantajlarıdır.

2.2.3. DIŞLI ÜRETİM PROSESLERİ

Dişli üretim teknolojisinde pek çok değişik proses kullanılıyor olmasına rağmen herhangi bir dişli üretimi için aslında iki temel yol vardır: Talaşlı ve talaşsız şekil verme. Şekil 2.3.'te talaşlı ve talaşsız üretim yöntemleri bir arada sunulmaktadır. Bu iki yöntem hem dişlinin kabaca şeklini elde etmek ve hem de bitirme işlemini yapmak üzere kullanılabilirken, bir yöntemle kabaca şekil verilmiş parça diğer yöntemle bitirme işlemine tabi tutulabilir. Örneğin kapalı kalıpla döverek şekillendirilmiş bir dişli parçaya raspalama ve traşlamayla son şekli verilebilir. Dişlinin tipi, boyutları ve kalitesi, onu imal edebilmek için gerekli üretim prosesini etkiler. Talaşlı şekil verme özellikle küçük dişlilerin (saat dişlileri) seri üretimi için uygundur. Bu başlık altında yaygınca kullanılan klasik ve yeni metotlar incelenecektir.

TALAŞLI ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ	ÇAPAKSIZ YÖNTEMLER
• Azdırma ile İmalat • Modül Freze ile İmalat • Yüzey Frezeleme • Form Frezeleme • Form Taşlama • Traşlama (Raspalama) • Broşlama • Elektroerozyon ve Tel Erozyonu	• Haddeleme • Toz Metalurjisi • Döküm • Hassas Dövme - Soğuk Hassas Dövme - Ilık Hassas Dövme - Sıcak Hassas Dövme

Şekil 2.3. Dişli Üretim Proseslerinin Sınıflandırılması

2.2.3.1. Talaşlı Şekil Verme Yöntemleri

Talaş kaldırma, ucu (ağız) keskin bir takım ile parça üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. Bu şekilde kaldırılan malzemeye **talaş** adı verilir. Talaş kaldırma işlemi, takım ile parça arasındaki izafi hareketin bir sonucudur. Takım ile iş parçası arasındaki kesme (ana), ilerleme (avans) ve yardımcı (ayar) olmak üzere üç türlü hareket vardır.

Kesme hareketi esas talaş kaldırma hareketidir. İlerleme hareketi, parçanın uzunluğu veya genişliği boyunca belirli bir kısmının işlenmesini sağlayan harekettir. Yardımcı hareketler ise, takımın parçaya yaklaşma hareketi, ilerleme hareketi bittikten sonra takımı başlangıç noktasına geri getirme gibi çeşitli ayar hareketlerini kapsar.

Genellikle kesme hareketi dönme veya doğrusal, ilerleme ve yardımcı hareketler ise doğrusal hareketlerdir. Bu hareketlerin parça veya takım tarafından yapılması, çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirir. Bu bakımdan; tornalama, frezeleme, planyalama, vargelleme ve taşlama olmak üzere beş talaş kaldırma yöntemi vardır.

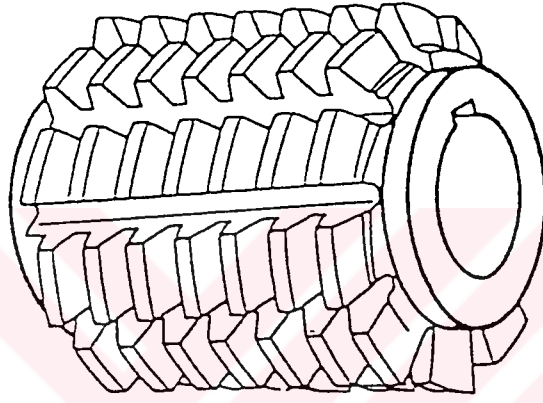
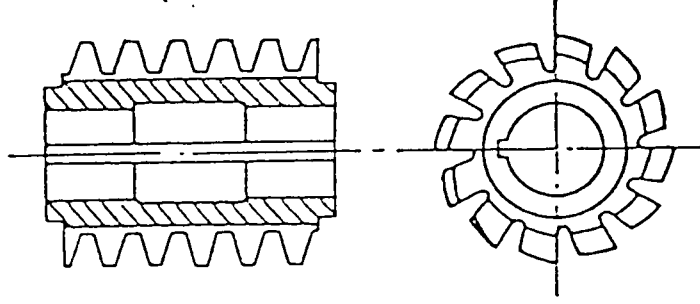
Kesici takımlarla fazla malzemenin uzaklaştırılarak dişli üretim prensibine dayanan prosesler bu gruba girer. Bu tip proseslerde kesici takım veya dişli taslağı sürekli döner. Yöntem hem dişli taslağı hem de bitirme işlemleri için kullanılabilir. Dişli dişlerinin karmaşık konturda olması ve yüksek boyutsal hassasiyet gereksinimi, dişliler kesilirken doğal olarak işleme zamanını arttırmakta ve bu da maliyeti yukarılara çekmektedir. Ayrıca talaşlı şekil verme prensibiyle çalışan proseslerde malzeme kaybı bir diğer problemdir. Bu sorunları gidermek amacıyla özellikle son yıllarda alternatif olarak çapaksız şekillendirme teknikleri geliştirilmiştir.

Her iki yöntemin de çeşitli avantaj ve dezavantajları mevcuttur. En yaygın talaşlı ve talaşsız yöntemler şöyle açıklanabilir.

2.2.3.1.1. Azdırma ile Üretim

Dişler arasındaki metalin kesilerek uzaklaştırıldığı bu yöntem, Şekil 2.4.'te görüldüğü üzere bir silindir dışına spiral olarak seri biçimde açılmış sonsuz vida şeklindeki kesici dişlerin bulunduğu azdırma ismi verilen kesici takım ile gerçekleştirilir. Azdırma ile imalat hem kaba hem de net şekilli dişli işlemlerinde kullanılan en hızlı metottur. İşlemin hızlılığı oldukça yüksek olan kesici çakı maliyetlerini bertaraf etmektedir.

Azdırma ile üretimde boyutsal doğruluk, kesici çakının doğruluğunun, makinenin rijitliğinin ve operatörün dikkatinin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkar. Küçük boyutlu parçalarda AGMA kalitesi sınıf 12'ye kadar olan dişliler son şekillerine işlenebilmektedir. Yüzey bitirme işlemlerinin kaliteli biçimde yapılması büyük oranda kesme hızına ve çakı üzerindeki dişlerin sayısına bağlıdır. Düşük hızlar ve tek dişli çakı en iyi sonucu vermektedir.



Şekil 2.4. Azdırma Çakısı (Eyercioğlu, Ö., 1995)

2.2.3.1.2. Modül Freze ile Üretim

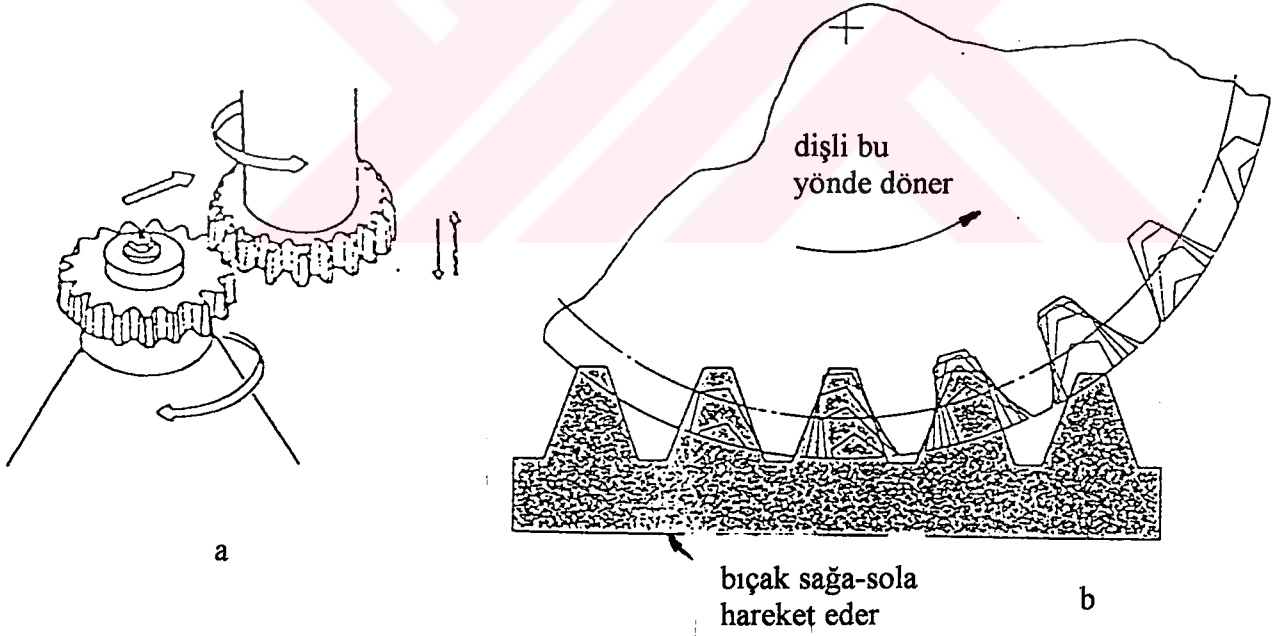
Bu yöntem, azdırma ile üretime benzemektedir. Günümüzde iki tip modül frezeleme işlemi gerçekleştirilmektedir. İlkinde bir dairesel pinyon dişli kesici takım kullanılmaktadır. Yöntemde dişli bir yöne dönerken ters yönde döndürdüğü iş parçasının üzerine dişleri açar. İş parçası aynı zamanda aşağı-yukarı dikey hareketler de yapmaktadır (Şekil 2.5.a).

İkincisinde ise düz bir blok üzerinde kremayer dişli gibi yerleştirilmiş olan kesici dişler diş açma operasyonunu gerçekleştirmektedir. İkinci işleme sürekli

frezeleme de denmektedir (Şekil 2.5.b). İşlemin devamlı olabilmesi için kremayer bıçağının uzunluğunun yuvarlanma dairesi çevresinden bir miktar büyük olması gerekir. Bu pek pratik olmadığından genellikle bıçak birkaç taksimat ilerledikten sonra başlangıç noktasına geri çekilir.

Düz dişli kremayerin diş ana doğruları üretilecek çark eksenine paraleldir. Helisel dişli kremayerinde ise bu doğrular eksenle helis açısı yaparlar.

Modül frezeleme işleminde kullanılan kesici takımlar azdırma takımlarından daha ucuz olmakla beraber yöntem azdırmaya göre daha yavaştır. Bu yöntemle üretilen dişlilerin boyutsal doğruluğu azdırma ile üretilenlere benzemektedir. Bazı durumlarda, azdırma ile işlenemeyecek sert malzemelere modül frezeleme ile diş açılabilir.



2.2.3.1.3. Yüzey Frezeleme

Bu yöntem genellikle spiral konik dişliler ve hipoid dişlilerin yapımında kullanılır. Azdırma, modül frezeleme veya diğer metotlarla üretilen dişlilerde final ürün kinematik olarak üretim yönteminden bağımsızdır.

Yüzey frezeleme ile üretilmiş spiral konik ve hipoid dişlilerde aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Bu proseste üç farklı sistem kullanılır. Birinci sistemde (Gleason) kesme merkezine göre sabit bir radyal mesafede dairesel olarak yerleştirilmiş kesici dişler mevcuttur. Diğer sistemde (Oerlikon) kesici dişler yine dairesel olarak ancak bu sefer değişken radyal mesafelerde yer almaktadır. Dönen dairesel bir tabla üzerine yerleştirilen bıçaklar kesme hareketini gerçekleştirir. Üçüncü sistemde ise (Klingelnberg) sürekli taksimatı sağlamak amacıyla çok başlangıçlı bir kesici takım mevcuttur (Eyericioğlu, Ö., 1995).

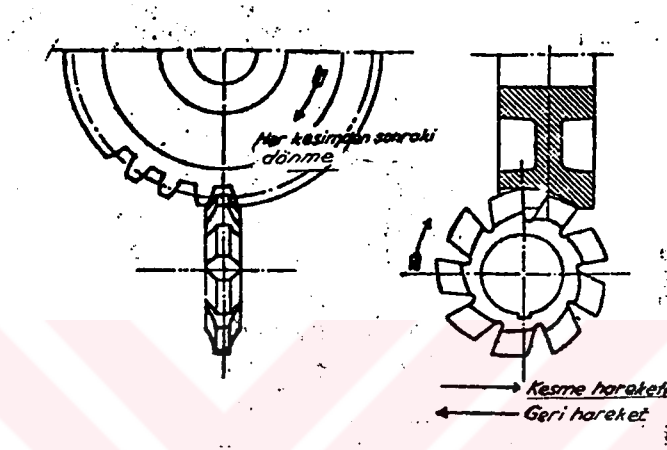
2.2.3.1.4. Form Frezeleme

Form frezeleme taslak dişliden, azdırmaya benzer şekilde, iki diş arasındaki malzemenin kesilerek atıldığı bir yöntemdir (Şekil 2.6.). Final parçanın boyutsal doğruluğu direkt olarak kesici takım üzerine açılmış olan kesici dişlerin doğru taksimatlandırılması ile ilgilidir. $d_o = 5$ m. ve $m=35$ mm. ye kadar olan dişliler form frezeleme ile üretilebilir. Bıçak bazen üretilecek dişlinin negatifi şeklinde de olabilir. Bitmiş parçanın yüzey kalitesi genellikle yüksek hızla işlenmiş azdırma parçalarından daha iyidir. Yöntem çok sayıda küçük dişli (saat ve alet dişlileri) üretimi için uygundur.

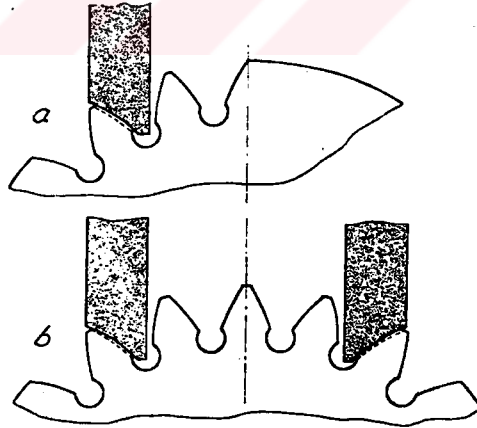
2.2.3.1.5. Form Taşlama

Diş yüzeyleri sertleştirme işleminden sonra taşlanırlar. Taşlama metotları talaşlı dişli imalatında kullanılan metotlara tamamen benzerdir. Kullanılan taşlama çarklarının

şekli (diş aralığı profilinde veya kenarları düz taşlama diskleri) ve sayısı çeşitlilik gösterir. Form taşlamada genellikle yuvarlanma dairesi çapı 12 mm.den 1.8 m. ye kadar olan dış dişliler ve 90 mm.den 750 mm. ye kadar olan iç dişliler taşlanabilir. Bu yöntemde pek çok durumda diş dibi özel bir ön taşlama bıçağı ile işlenir. Form taşlama işlemi şematik olarak Şekil 2.7.'da gösterilmiştir.



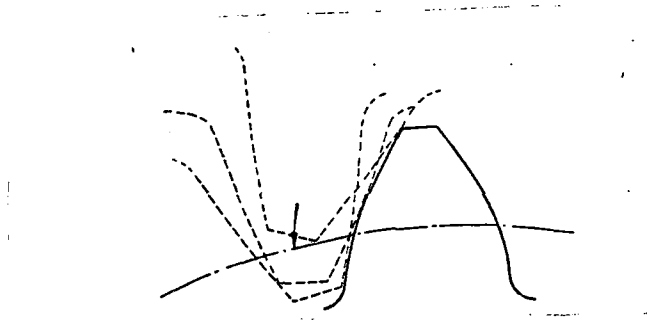
Şekil 2.6. Disk Şekilli Form Freze Bıçağı ile Dişli Üretimi (Ulukan, L., 1973)



Şekil 2.7. Form Taşlama a) Bir Kenarlı Form Taşlama b) İki Tane Bir Kenarlı Form Taşlama (Ulukan, L., 1973)

2.2.3.1.6. Traşlama (Raspalama)

Traşlama normal kesme işlemine ve taşlamaya göre genellikle çok daha hızlı bir son talaş alma işlemidir. İşlenecek malzemenin sertliğiyle sınırlandırılmıştır. 450 HB'den daha yüksek yüzey sertliğindeki dişlilerin traşlanabilmesi için özel bıçak ve kesme sıvısına ihtiyaç vardır. Profil geometrisi, taksimat hataları ve helis hataları bir dereceye kadar traşlama ile düzeltilebilir. Traşlama bıçakları, dişleri kesici kenarları oluşturmak üzere eksene dik düzlemlerle dilimlenmiş silindirik dişli veya kremayer şeklindedir. Küçük dişlilerin traşlanmasında bıçak dişliyi, büyük dişlilerde ise dişli bıçağı tahrik eder. Traşlanacak dişli ile bıçak, eksenleri arasında belli bir açı olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Böylece dişli ve bıçak bir çift spiral dişli gibi çalışırlar. Bu açı traşlamadaki kesme işlemini gerçekleştirir. Traşlama esnasındaki bıçak dişi ile çark dişinin kavrama durumu Şekil 2.8.'de gösterilmektedir. Kesme miktarı, eksenler arasındaki açıyı arttırmakla, arttırılabilir. Ancak açı arttıkça kavrama doğrusu uzunluğu azaldığından 10° - 15° arasındaki değerler tavsiye edilir. Birkaç yüz dişli için traşlamanın ekonomik olmadığı söylenebilir.



Şekil 2.8. Traşlama Esnasında Bıçak Dişi ile Çark Dişinin Kavrama Durumu
(Ulukan, L., 1973)

2.2.3.1.7. Broşlama

Yöntem, dişli üretimi için oldukça hızlı bir yöntemdir. Hem iç hem de dış alın ve helisel dişlilerde kullanılırsa da, iç alın dişli üretiminde daha sık olarak kullanılır. Broşlama, yuvarlanma dairesi çapı 250 mm.den daha büyük dişliler ile diş genişliği fazla olan dişliler için pek pratik değildir.

2.2.3.1.8. Elektroerozyon ve Tel Erozyonu

Bu yöntem hemen her sertlikteki malzemeden dişli üretimi için kullanılabilir. Burada, kesici takım görevini gören bir elektrottur ve elektrot ile iş parçası arasındaki ark, iş parçasında erozyon meydana getirir. Elektrot, işlenecek parçaya bağlı olarak basit veya karmaşık şekilli olabilir. Dişli üretiminde sık kullanılan yöntem tel erozyonu yöntemidir. Bu yöntemde üretilen dişlerin yüzey hassasiyetleri 0.4-0.8µm. gibi küçük mertebelerde olsa da 0.2-0.4 µm. gibi çok daha düşük pürüzlülükler de elde etmek mümkündür. Buna rağmen işlem zamanının uzunluğu ve işlenen yüzeyler altında çatlak meydana gelebilme tehlikesi nedeniyle kritik uygulamalarda pek tercih edilmeyen bir üretim yöntemidir.

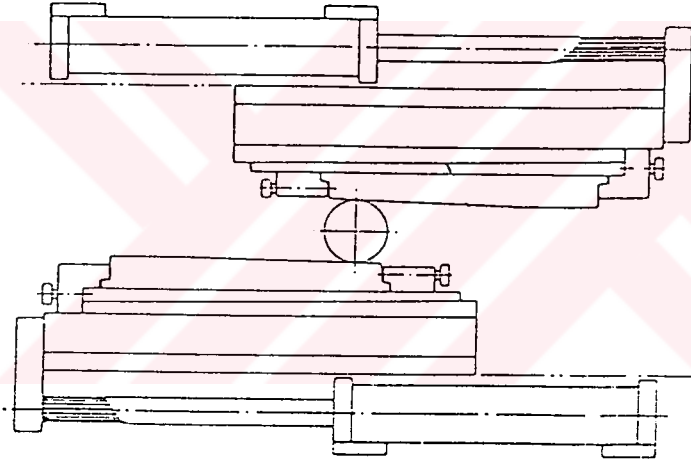
2.2.3.2. Çapaksız Yöntemler

2.2.3.2.1. Haddeleme

Haddeleme malzemenin plastik şekil verilmesinde önemli bir prosestir. Haddeleyerek şekillendirme bitirme işlemi olarak kullanılabileceği gibi katı bir çubuktan dişli yapılmasında da kullanılabilir. Haddeleme, ovalama tipi kalıplarda gerçekleştirilir. Şekil 2.9.' da böyle bir işlem prosesi görülmektedir.

Ovalama kalıpları karşılıklı olarak zıt yönde yatay hareket ederler ve iş parçası kalıplar arasında şekillenir. Bu yöntem haddelemenin en yavaş prosesidir. Kalıp masrafı az olmakla beraber silindirik kalıplarda işlem hızı daha yüksektir.

Haddeleyerek bitirme işlemi ise hızlı ve ekonomik bir prosestir ve dişli yüzeyinin kalıntı basma gerilmelerine dayanımını artırır. Haddeleyerek bitirme işlemi yalnızca dişlerin aktif (birbiri ile temas eden) yüzeylerine uygulanır. Ancak, yöntem eğer ısıtılma işleminden evvel uygulanırsa ısıtılma işlemi sırasında ortaya çıkabilecek distorsiyonları gidermek amacıyla dişli profili modifiye edilmelidir.



Şekil 2.9. Haddeleyerek Dişli Üretiminin Şematik Gösterimi (Wick, C. H., 1960)

2.2.3.2.2. Toz Metalurjisi

Toz metalurjisi dişli üretiminde kullanılan en flexibel yöntemdir. Düz, helisel, konik, düz-helisel, helisel-helisel dişliler bu yöntemle üretilebilir. Toz haline getirilmiş metal sıkıştırılıp sinterlenerek dişli haline getirilir. Dişlilerin dayanımları sınırlı olmakla beraber çok sayıda üretim söz konusu olduğunda maliyetleri aşırı derecede ucuzdur. 50 mm.den daha düşük çaplı ve fazla dayanım gerektirmeyen dişlilerin üretiminde

kullanılırlar. Daha büyük, daha dayanıklı ve daha hassas dişli üretimi gerektiğinde toz metal dövme (Powder Forging) veya izostatik sıcak presleme (Hot Izostatic Pressing) yöntemleri kullanılır. Toz metalurjisi günümüzde askeri tanklar, türbin motorları, oyuncaklar, pompalar, ofis makineleri ve otomobillerde ya kullanılmaktadırlar veya test aşamasındadırlar.

2.2.3.2.3. Döküm

Döküm yöntemi ile düşük yüklerde çalışan dişliler oldukça çok sayıda üretilirler. Bu yöntemle üretilen dişliler çoğunlukla karmaşık şekillidirler ve kama kanalı, dişlinin ters yönde dönmesini engelleyen parça, kare delikler gibi ekler içerirler. Metal erime sıcaklığına kadar ısıtılır ve basınç altında kalıp boşluğuna dökülür. Kullanılan en yaygın metal, çinko ve alaşımlarıdır. Alüminyum ikinci sırayı alır ve pirinç, bronz ve magnezyum da sınırlı miktarlarda kullanılırlar. Oyuncaklar, kontrol mekanizmaları ve iş makinelerinde düşük gerilmeler altında çalışan döküm yöntemi ile üretilmiş dişliler düz, helisel, konik ve diğer tüm tiplerde üretilebilirler. Reel olarak bir döküm prosesi söz konusu olduğundan boyut hassasiyeti kötüdür. Boyut toleranslarını modifiye etmek gerekirse de pek çok dişli döküldüğü boyutlarında kullanılır.

2.2.3.2.4. Hassas Dövme

Dişli dövme terimi parçaların net veya nete yakın boyutlarına dövülmesini içermektedir. Son yıllarda dişlilerin hassas dövülmesi konusunda büyük aşamalar kaydedilmiştir. Bunun sebebi böyle üretilen dişlilerin diğer tüm klasik yöntemlere olan doğal üstünlüğüdür. Bu avantajların başlıcaları, artan dayanım, daha az hammadde tüketimi, dizayn fleksibilitesi ve ekonomiklik, olarak sıralanabilir.

Hassas dövme terimi yalnızca bir dövme prosesini değil aynı zamanda dövmeye filozofik bir yaklaşımı da ifade eder. Bu yaklaşımın amacı net veya net boyuta yakın

parça üretmektir. Net dövme sonunda dövülmüş yüzeylerde ek bir işleme gerek yoktur ancak, küçük deliklerin delinmesi gibi ek işlemler yapılabilir. Nete yakın dövmede ise çok az miktarda işleme ya da bitirme operasyonu uygulanır.

Shipley'e göre (1985) hassas dövme bazen, boyutsal ve yüzey toleranslarının tam olarak sağlandığının bir göstergesi olarak "tam tolerans dövme" olarak ta adlandırılır.

Hassas dövme operasyonları soğuk, ılık ya da sıcak veya bunların bir kombinasyonu olacak şekilde gerçekleştirilir. Her prosesin avantaj ve sınırlamaları aşağıda açıklanmıştır.

2.2.3.2.4.1. Soğuk Hassas Dövme

Soğuk dövme klasik bir hassas dövmedir. En önemli avantajı yüksek boyutsal tolerans ve üretkenliğin bir arada olmasıdır. İşlem, başlıktan da anlaşıldığı üzere, malzemenin rekristalizasyon sıcaklığının altında gerçekleştirilir. Parlak yüzeyli iş parçaları kullanıldığından üretilen parçaların yüzeyleri sıcak dövmeye göre çok iyidir. Hatta öyle ki, bazen bu parçalar talaşlı şekil verme ile elde edilenler kadar iyi yüzey kalitesine ulaşabilir. Bununla beraber prosesin bazı sınırlamaları vardır. En başta şekillenecek malzemenin, takımları yüksek gerilmelere maruz bırakabilecek, yüksek akma gerilmesi gelir. Geri kalanları ise şöyle sıralamak mümkündür:

- Parça boyutları pres kapasitesi ile sınırlıdır.
- Pek çok parça soğuk olarak dövülebilmekle beraber karmaşık şekilli, yüksek oranda deformasyon gerektiren ve asimetric parçalar dövülemez.
- Dövülecek çeliğin karbon oranı %0.5'ten düşük ve diğer alaşım elementlerinin toplam miktarı %3'ten az olmalıdır.
- Pekleşmenin etkisinin giderilmesi amacıyla bir ara tavlama ihtiyacı duyulur.

- Kullanılacak hammadde hacminin önceden çok iyi belirlenmiş olması ve iyi yağlama yapılması gerekir.
- Takımlar pahalı olduğundan ancak çok sayıda üretim ekonomik olur.

Yukarıdaki sınırlamalara bakıldığında dövme işleminin yüksek sıcaklıklarda yapılması daha mantıklı görünüyorsa da, eğer parçanın soğuk olarak dövülmesi mümkünse kesinlikle bu proses seçilmelidir.

2.2.3.2.4.2. Ilık Hassas Dövme

Yüksek alaşımlı çeliklerin şekillendirilmesine izin veren ılık dövmenin uygulama alanı geniştir ve işlem yaklaşık olarak 200-850°C arasında gerçekleştirilir. Bu metodun başlıca avantajı boyut hassasiyetinin soğuk dövmede olduğu gibi yüksek ve şekillendirme kabiliyetinin sıcak dövmede olduğu gibi iyi olmasıdır. Ilık dövmenin dezavantajı prosesin kompleks olması ve hem soğuk hem de sıcak dövme prosesine göre kalıpların pahalı olmasıdır. İşlem sıcaklığı iş parçasının karakteristiğine göre belirlenir. Malzemenin akma gerilmesi mevcut ekipmanın dövmeyi gerçekleştireceği kadar düşük olmalı ve kırılma olmaksızın şekillendirme işlemi yerine getirilmelidir.

2.2.3.2.4.3. Sıcak Hassas Dövme

İş parçasının sıcaklığındaki artış akma gerilmesini düşürürken şekillendirme kabiliyetini de artırır. Sıcak dövme malzemenin rekristalizasyon sıcaklığının üzerinde gerçekleştirilir ve kalıp boşluğunu doldurmak soğuk dövmeye göre daha kolaydır. Böylece verilen bir parça için takımlar daha düşük kuvvet uygular, daha düşük deformasyon enerjisine ihtiyaç vardır ve düşük kapasiteli bir pres yeterlidir. Ayrıca, verilen bir ekipman kapasitesi için sıcaklığı arttırmak aynı kapasitede daha büyük parçaların dövülmesine imkan tanır. Sıcak dövme prosesi ile soğuk dövmeye göre, çok daha çeşitli, farklı büyüklüklerde ve değişik malzemelerden parçaların

şekillendirilmesine imkan tanır. Tüm bu avantajlarıyla beraber termal genleşme gibi ısı olaylar, yağlayıcıda meydana gelen değişiklik dövuken parçanın boyutsal hassasiyetini düşüren etmenlerdir. Ayrıca takımların soğuk şekillendirmeye göre daha hızlı aşınması da bir dezavantaj olarak karşımıza çıkar.

2.2.4. DİŞLİ HASAR TİPLERİ

Bu bölümde dişli hasar modlarının en yaygın tipleri ve dişli üretim prosesleri anlatılacak ve üretimdeki modern teknolojik ihtiyaçlar açıklanacaktır.

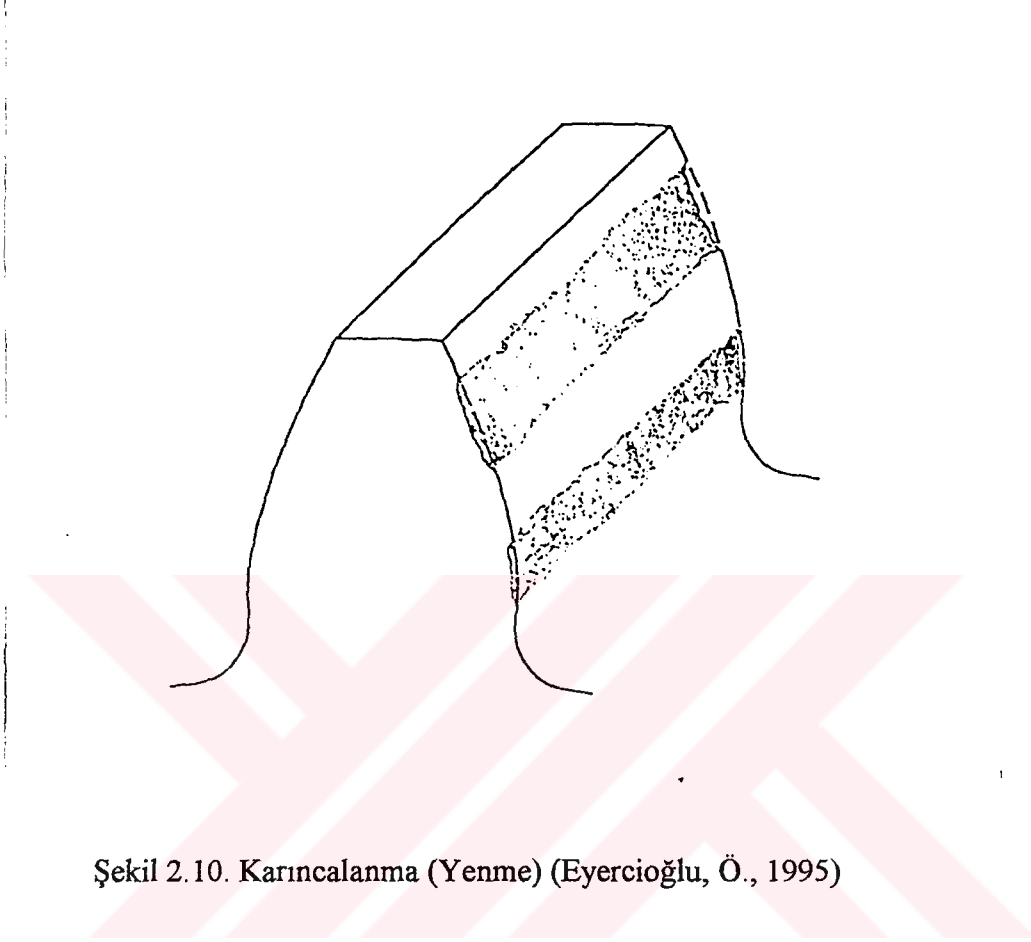
Dişli dizaynı sırasında yapılacak olası hatalar, dişlinin hasar görmesine neden olur. Bilinen en yaygın dişli hasar tipleri, Shipley (1967) ve Eyercioğlu (1995) tarafından açıklanmıştır.

2.2.4.1. Karıncalanma (Yenme)

Bu tip hasar art arda gelen iki olayın kombinasyonu olarak tarif edilebilir: Birincisi temas yüzeyindeki yağ filminin yüzeyden ayrılması ve ikincisi metal-metal teması sonucu kaynama oluşmasıdır. Bu sırada işletme yükü, hız ve yağ sıcaklığı değerleri sabit kabul edilir.

Yağ sıcaklığının artması ile beraber diş yüzeyindeki ısı seviyesi belli bir kritik değere ulaştığında (malzeme ve yağlayıcı özelliklerine de bağlı olmakla beraber) hızın veya dişli üzerindeki yükün artmasıyla beraber yağ filmi dişli yüzeyinden ayrılır ve yüzey bir süre sonra hasara uğrar.

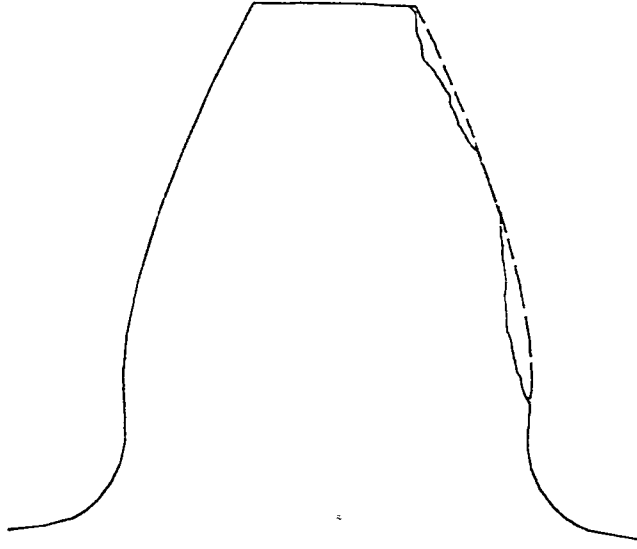
Kaynama yorulma hasarı olmamakla beraber zamanla ilerler ve diş profilini bozar. Özel şartların oluşmasından itibaren genellikle ilk 10-30 dakika içinde gerçekleşir. Şekil 2.10.'da bu tip hasara uğramış dişlinin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.10. Karıncalanma (Yenme) (Eyericioğlu, Ö., 1995)

2.2.4.2. Aşınma

Dişli ile uğraşan uzman mühendislerin bakış açısı ile aşınma, dişli üzerinde meydana gelen az ya da çok metal tabakası azalmasıdır (Şekil 2.11.). Kaynamadan farklı olarak aşınmanın belirlenmesi ve ortaya çıkarılması çok zordur. Aşınma çalışmanın hemen başında ortaya çıksa bile, ilerlemesi çok yavaş olduğundan milyonlarca çevrim sonucunda ölçülebilir bir büyüklüğe ulaşır. Aşınmanın en yaygın 3 sebebi, metal ara yüzeylerindeki yetersiz yağ filmi, yağ içindeki aşındırıcı partiküller ve yağ ile katkılarının kimyasal aşındırmasıdır.

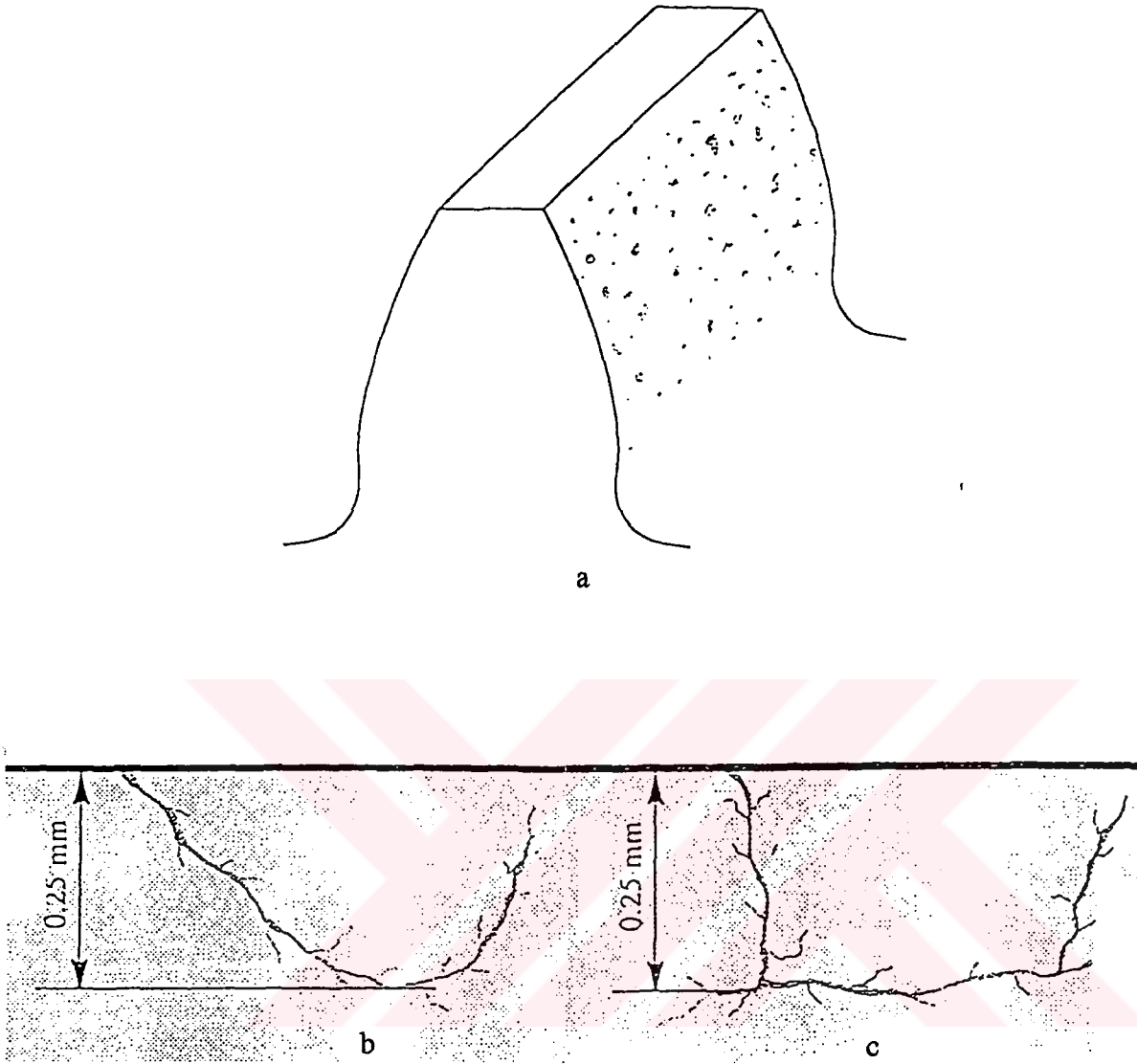


Şekil 2.11. Düz Bir Dişli Üzerinde Tipik Aşınma (Eyercioğlu, Ö., 1995)

2.2.4.3. Gözeneklilik

Gözeneklilik, malzemenin akma gerilmesi aşıldığında ortaya çıkan bir yüzey yorulma hasarıdır. Yük altındaki dişliler yüzeylerinde yüzeyden aşağılarda gerilmelere maruz kalırlar. Yük yeterince yüksekse gerilme sürekli tekrarlanır ve metalin önemli bir bölümü yorularak gözenekler oluşmaya başlar. Olay 3 farklı şekilde karakterize edilir: İlk gözeneklilik, hasar verici gözeneklilik ve çukurcuklar.

İlk gözenekler oldukça küçüktür ve yaklaşık 0.4 - 0.8 mm. çaplarındadır. Aşırı gerilmeye maruz alanlarda ortaya çıkar. Hasar verici gözenekliliğin etkisi daha şiddetlidir ve daha büyük boyutlardadır. Dişliye gelen yük artmasa bile hemen servisten alınması gerekir, yoksa diş kırılır. Çukurcuklar da pratik olarak hasar verici gözeneklilikle aynıdır ancak bu terim çoğunlukla çapı çok geniş ve toplamda oldukça fazla yer kaplayan delikler için kullanılır. Çukurcuklar bazen, yüzeyi sertleştirilmiş bir dişlinin sert kısmı ile yumuşak kısmını ayıran hatta ortaya çıkabilir. Şekil 2.12.'de tipik gözeneklilik ile yüzey ve yüzey altı orijinli gözenekler görülmektedir.



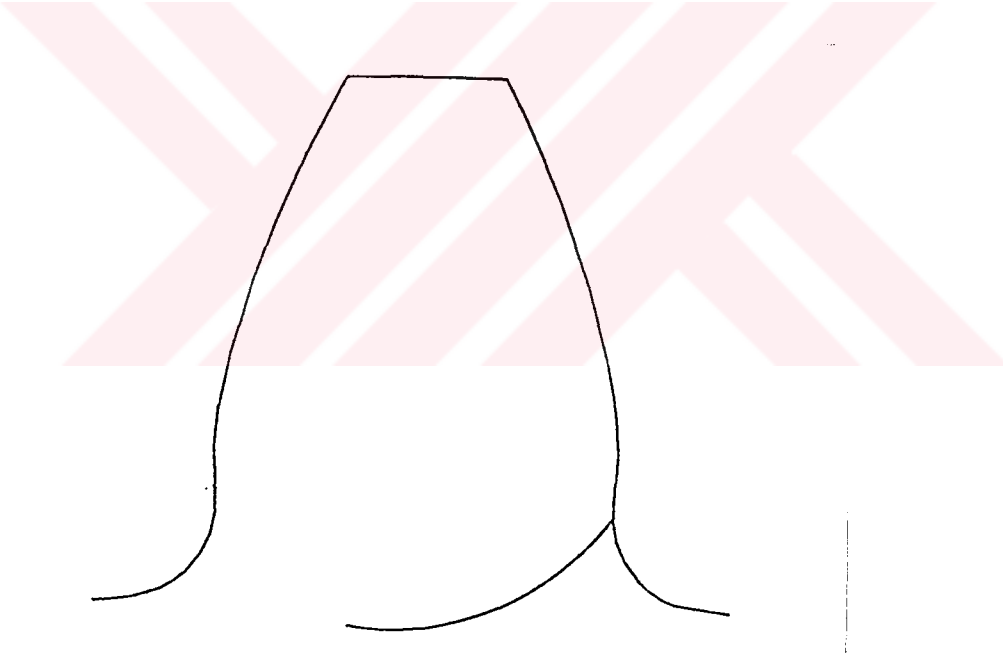
Şekil 2.12. a) Gözeneklilik b) Yüzey Orijinli Gözenek c) Yüzey altı Orijinli Gözenek
(Shipley, E. E., 1967)

2.2.4.4. Plastik Şekil Değişimi

Yüzey ve yüzey altında malzemenin akma noktasının aşılmasıyla ortaya çıkan bu tip hasarlar çoğunlukla yumuşak malzemedan üretilmiş dişlilerde görülen bir sorundur. Tam olarak bir hasar terimi sayılmamakla beraber plastik akma zamanla ilerler ve kötü sonuçlar doğurabilir. Özel durumlarla karşılaşıldığında ortaya çıkan bu olay soğuk akış, sıcak akış ve yüzey dalgalanması şeklinde oluşur.

2.2.4.5. Kırılma

Bu ana kadar irdelenen hasar modları oldukça yavaş ilerleyen ve hasarın başlaması ile dişlinin servisten alınmasının arasında oldukça uzun süreler olan hasarlar idi. Kırılma diğer hasar tiplerine göre daha sinsice ilerleyen bir hasardır ve ilk ortaya çıktığı anda fark edilmez. Aniden ortaya çıkar ve özellikle güç ileten dişlilerde ya iletim miktarını önemli ölçüde azaltır veya dişliyi tamamen servis dışı bırakır. Kırılma pek çok değişik sebepten dolayı oluşabilir. Bunların en yaygınları; klasik eğilme yorulması, aşırı yükleme ve rasgele kırılmadır. Klasik eğilme yorulması hasarı, dişlinin en çok yorulmaya maruz kaldığı diş dibinde ortaya çıkar. Şekil 2.13.'de de görülen bu hasara ya aşırı yükleme ya da malzemenin akma sınırını aşmış olan bir çevrim gerilmesi sebep olur.



Şekil 2.13. Klasik Eğilme Yorulması Sonucu Diş dişi Kırılması (Eyercioğlu, Ö., 1995)

BÖLÜM 3.

KONUNUN ÖNEMİ, ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR VE ÇALIŞMA PLANI

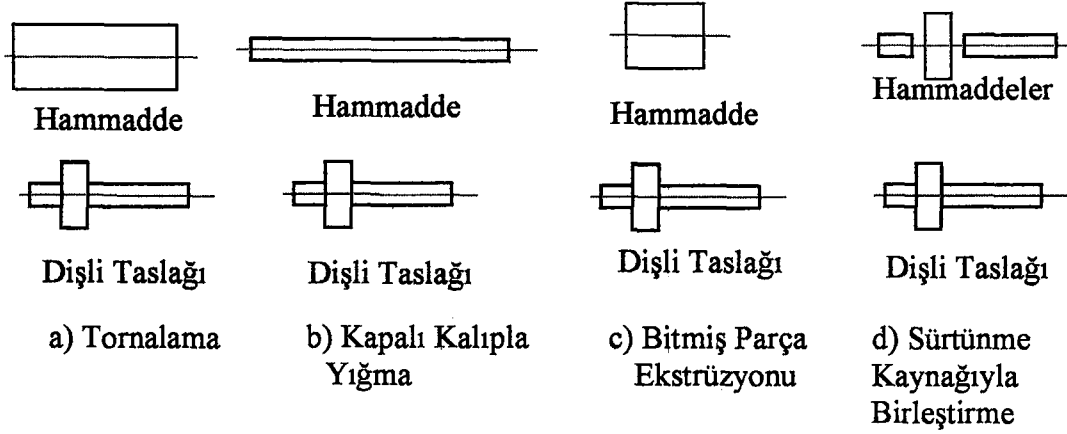
3.1. GİRİŞ

Ülkemizdeki sanayileşme çalışmalarının Cumhuriyetle birlikte hızlanması sonucunda sanayi malları üretiminde küçümsenemeyecek atılımlar yapılarak önemli başarılarla imza atılmıştır. Özellikle 1996 Avrupa Gümrük Birliğiyle birlikte ortadan kalkan gümrük duvarları, yerli üreticilerin uluslararası rekabetle gittikçe artan oranlarda karşı karşıya gelmesine yol açmıştır. Günümüz rekabet ortamında firmaların rekabet gücünü koruyabilmeleri, yapacakları araştırma-geliştirme çabalarına ve bunların başarılarına bağlı hale gelmiştir. Bu durum, henüz tatmin edici seviyede olmasa da sanayi kuruluşlarının Tübitak ve Üniversitelerle çeşitli biçimlerde ilişkiye girmelerini zorlamaya başlamıştır. Sunulan tez, bir sanayi kuruluşunun üretim maliyetlerini düşürmeyi amaçlayan çalışmalara yardımcı olmak üzere yürütülmüştür. Çalışmada, dişli pompa dişlilerinin diş açma öncesi taslaklarının üretiminde talaşlı işleme alternatifi olarak kapalı kalıpta yığma yöntemi uygulanmış ve söz konusu yöntemler çeşitli bakımlardan karşılaştırılmıştır.

3. 2. DİŞLİ TASLAK ÜRETİMİ

Şekil 2.2’de de verildiği gibi, çalışmayı destekleyen kuruluştaki dişli taslakları halen, diş üstü çapından talaşlı işleme payı kadar büyük kütüklerden tornalama yoluyla üretilmektedir. Kullanılan üretim yöntemi, atılan talaş nedeniyle malzeme kayıplarına yol açması yanında işleme zamanlarının da büyümesine neden olmaktadır.

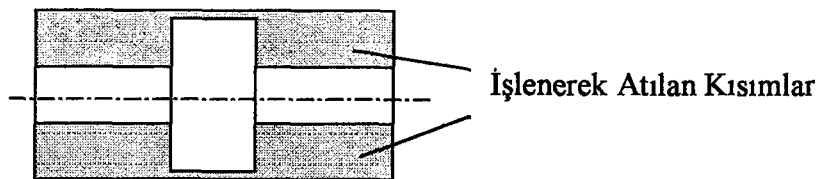
Bu durumda, dişli taslak üretimi için Şekil 3.1.'de gösterilen alternatif yöntemleri uygulamak mümkündür. Takip eden kısımlarda söz konusu üretim yöntemlerinin dişli taslak örneğinde kısaca açıklamaları yer almaktadır.



Şekil 3.1. Dişli Pompa Dişli Taslakları Alternatif Üretim Yöntemleri (Akata, H. E., 1997)

3.2.1. Talaşlı İşleme

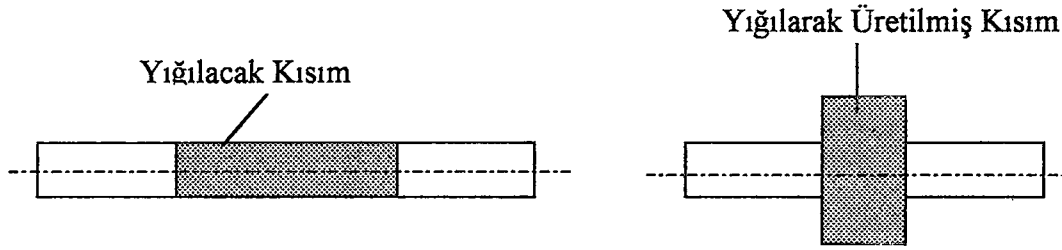
Bu yöntemde dişli taslakları, diş üstü çapından daha büyük bir hammadde çapından talaş kaldırılarak elde edilmektedir. Şekil 3.2.' de yöntemin esası taslak olarak gösterilmektedir. Hammaddeden belirli bir kısım talaş olarak atılmaktadır. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan malzeme ve zaman kayıpları ileride irdelenecektir.



Şekil 3.2 Talaşlı Şekil Verme Yöntemiyle Dişli Taslağı Üretimi

3.2.2. Yığma

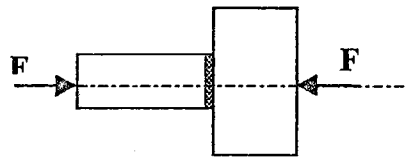
Bu yöntemde taslağın diş açılacak kısmı, şaft kısmından daha büyük çaptan plastik şekil değiştirme ile elde edilmektedir (Şekil 3.3.). Yığma ile üretimde ortaya çıkan zaman etüdü ve malzeme kaybı da yine ileride irdelenecektir.



Şekil 3.3. Yığma Yöntemiyle Dişli Taslağı Üretimi

3.2.3. Sürtünme Kaynağı ile Birleştirme

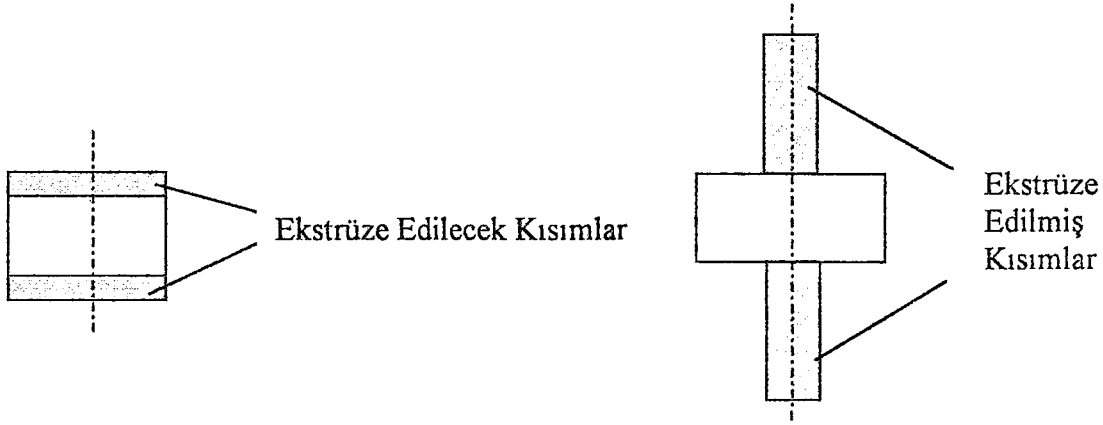
Seri üretimde dönel simetrik parçaların bir biri ile birleştirilmesinde sürtünme kaynağı yöntemi kolaylıkla kullanılabilen bir yöntemdir. Burada mekanik enerji, ısı enerjisine dönüşür. Bu yöntem dişli taslakları üretiminde şaft kısımların dişli kısımlara bastırılmasıyla elde edilir (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Sürtünme Kaynağı Yöntemiyle Dişli Taslağı Üretimi

3.2.4. Ekstrüzyon

Dişli taslakların üretiminde kullanılabilecek bir diğer yöntem plastik şekil verme yöntemlerinden birisi olan ekstrüzyon yöntemidir. Bu yöntemde yığma yönteminin



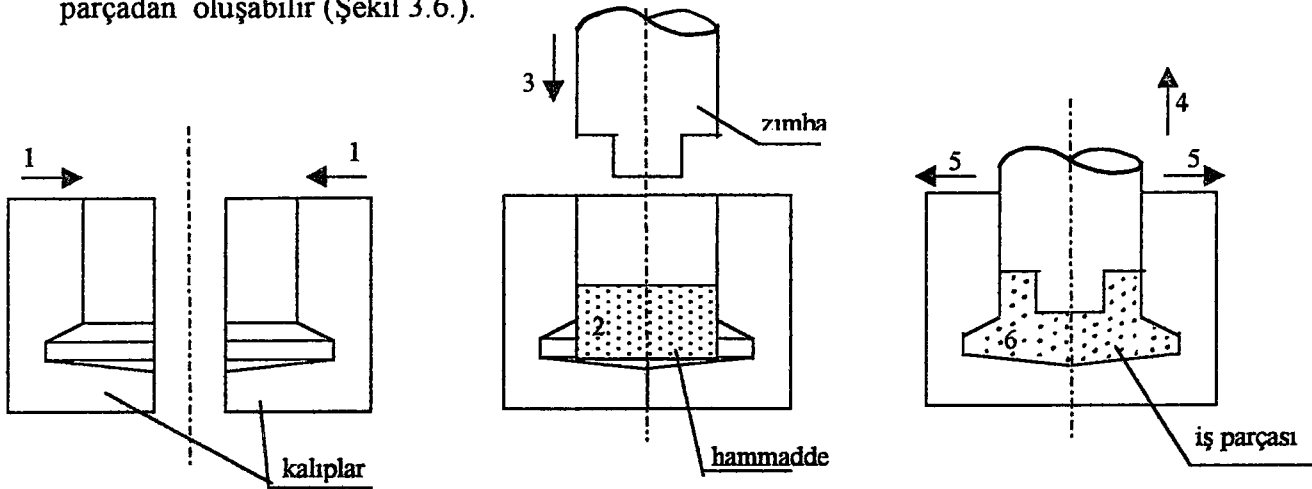
Şekil 3.5. Ekstrüzyon Yöntemiyle Dişli Taslağı Üretimi

aksine şaft çapındaki bir hammadde yerine diş üstü çapından daha büyük bir hammadde ile ileri ve geri ekstrüzyon birlikte olacak şekilde taslak elde edilir (Şekil 3.5.).

3.3. KAPALI KALIPLA ÇAPAKSIZ DÖVME YÖNTEMİYLE DİŞLİ TASLAK ÜRETİMİ

3.3.1. Kapalı Kalıpla Çapaksız Dövme

Soğuk veya sıcak olarak uygulanabilen bu yöntemde çapağa malzeme çıkmayacağı için hammadde hacmi çok dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir. Böylece metalin, bir ıstampa tarafından uygulanan kuvvetle herhangi bir malzeme kaybı olmadan kalıp boşluğunu doldurması sağlanır. Istamp ve kalıp bir veya birden çok parçadan oluşabilir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Kapalı Kalıpla Çapaksız Dövme: 1-Kalıplar kapanır, 2-Hammadde konur, 3-Zımha aşağı iner, 4-Zımha yukarı alınır, 5-Kalıplar açılır, 6-İş parçası alınır (Altınbalık, T., 1995)

Kapalı kalıpla çapaksız dövmede aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır (Lange, K., 1985):

- 1) Hammadde, ara kademeler ve son kademede malzeme hacimleri eşit olmalıdır. Bunun pratik olmadığı durumlarda % 0.5 ile % 2 arasında dengeleme hacmi bırakılabilir.
- 2) Ara kademeler arasındaki geçişlerde kesitler birbirine yakın ve ilişkili olmalıdır.
- 3) Malzeme akışı ile ilgili olarak, parçanın kalıp içinde merkezlenmesine çok dikkat edilmelidir.

Malzeme kaybı olmadığı için ortaya çıkan kazancın, kalıpların pahalılığı ve işlemin her safhasında gösterilmesi gereken önemle bir anlamda dengelendiği bu yöntemde avantaj ve dezavantajlar şu şekilde sıralanabilir:

Avantajları

- 1) % 10 ile % 30 arasında ağırlıktan kazanılır.
- 2) Çapak kesmeye gerek yoktur.
- 3) Kalıpta çapak alanı olmadığı için kuvvetler de nispeten azdır.
- 4) Çapak kesme olmadığı için mekanik özellikler daha yüksektir.

Dezavantajları

- 1) Malzeme gramajı çok hassas hesaplanmalı ve kesilmelidir.
- 2) Ara kademeler arasında ve kalıbın çeşitli bölgelerinde malzeme dağılımını iyi yapmak gerekir.
- 3) Kalıp gravürü içinde merkezlemeye dikkat edilmelidir.
- 4) Kalıpta birbiri içine giren parçalar arasında ince film şeklinde çapak oluşumu ortaya çıkabilir.
- 5) Cidar kalınlıklarında değişmeler ortaya çıkabilir.

Bu yöntem genellikle rulman bilezikleri, dişli taslakları gibi disk şekilli parçalara uygulanır. Kapalı kalıpla dövmede işlem gerçekleştirilirken iki temel şart sağlanmalıdır: Düşük akma gerilmesi ve yüksek dövülebilirlik. Malzemenin plastik deformasyona karşı direncini gösteren akma gerilmesi, kalıp malzemelerinin sahip olduğundan çok daha düşük olmalıdır. Malzemenin hasara uğramadan deforme olabilme yeteneği; örneğin dövülebilirliği arzulanan miktarda şekil değiştirmeye izin vermelidir. Verilen bir malzeme için hem akma gerilmesi hem de dövülebilirlik o malzemenin metalurjik karakteristikleri, sıcaklık, genleme ve genleme hızı gibi dövme parametrelerinden etkilenir.

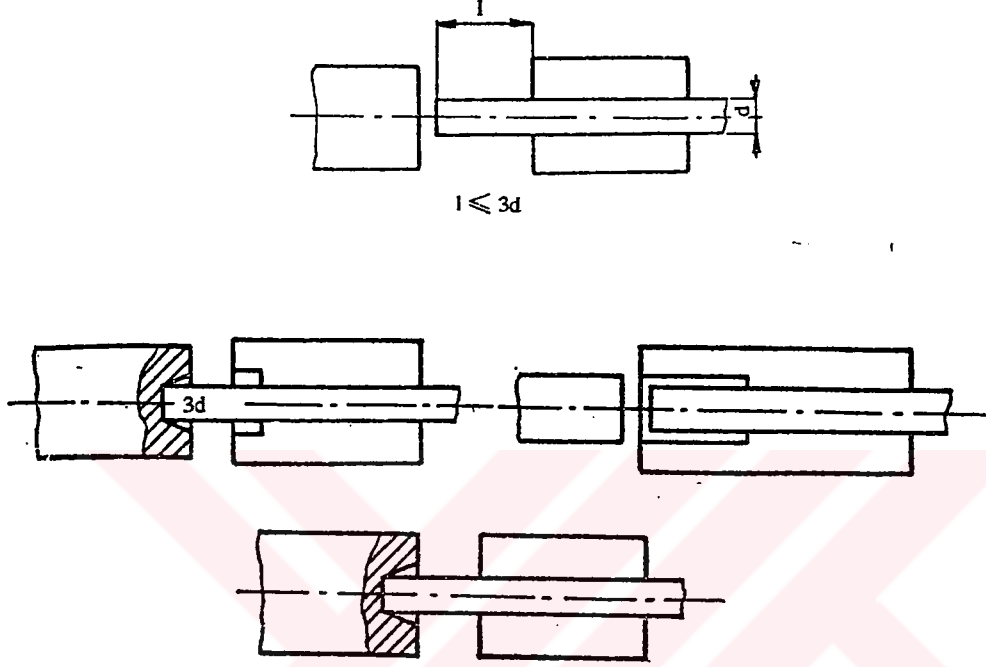
Yöntemde malzeme akışı ve kalıbın doldurulması iş parçasının akma gerilmesi ve dövülebilirliği ile büyük oranda ilişkilidir. Bir diğer önemli unsur ise sürtünmedir. Sürtünme genellikle dövülebilirliği, malzeme akışını, basınç dağılımını, kuvvet ve enerji ihtiyacını etkiler.

3.3.2.Kapalı Kalıpta Yığma (Kafa Şişirme)

Yığma genellikle dairesel kesitli metal bir çubuğun eksenini doğrultusunda uygulanan basma kuvveti etkisiyle, bir ucunun yığılarak şekillendirilmesidir. Tipik uygulama örneği cıvata kafaları, subaplar ve dişli taslaklarının şekillendirilmesi olan bu tip yığma işleminin sağlıklı yapılabilmesi, yığılacak kısım uzunluğu, hammadde çapı ve yığılacak çap(kalıp gravür çapı) arasındaki ilişkilere bağlıdır. Söz konusu ilişkiler, “Yığma Kuralları” olarak bilinen ve yığmada burkulmanın kendisinin veya katmer oluşumu gibi olumsuz etkilerinin önlenmesinin koşullarını belirten ifadelerdir.

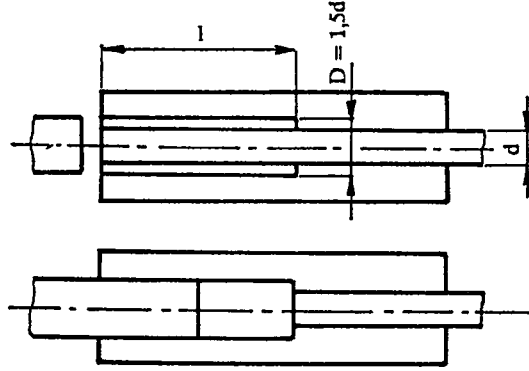
Birinci Yığma Kuralı: Dairesel bir çubuğun sıcak yığılmasında yığılacak kısım uzunluğu (l), yığılacak çapa bağlı olmaksızın, çubuğun çapının (d) üç katından daha az olması gerektiğini ifade eder (Şekil 3.7.) Yığılacak kısmın kapalı kalıbın içinde veya

dışında olmasının bir önemi yoktur. Soğuk yığmada söz konusu oran $l \leq 2d$, kurşun-bakır alaşımlarında ise $l \leq 1,5d$ ilişkisini sağlamalıdır(Çapan,L. ; 1999)



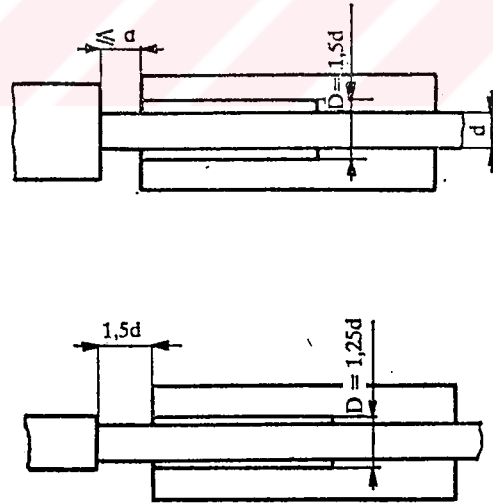
Şekil 3.7. Birinci Yığma Kuralı

İkinci Yığma Kuralı: Birinci kural, serbestçe yığılabilecek çubuk uzunluğunu sınırladığından, büyük yığma çapları için elde edilebilecek parça uzunluğunu da sınırlamış olur. Buna karşılık büyük parça çapı ve uzunluklarının yığılmasını olanaklı hale getiren bir kademelendirme, ikinci ve üçüncü yığma kuralları ile sağlanabilir. İkinci yığma kuralına göre; yığılacak kısmın çapının(D) hammadde çapının(d), 1.5 katından daha az olması ve yığma işleminin kalıp içinde(kapalı kalıpta) yapılması halinde, yığılacak kısmın boyu(l) hammadde çapının(d) 3 katını geçebilir. Uygulamada söz konusu çaplar oranının 1.4 alınması tavsiye edilir (Şekil 3.8.). Böylece, kademeler arasında ikinci kurala uyularak istenilen şişirme işleminin yapılması mümkün hale gelmiş olur.



Şekil 3.8. İkinci Yığma Kuralı (Çapan,L., 1999)

Üçüncü Yığma Kuralı: İkinci kuralın şartlarının sağlandığı bir şekillendirme işleminde kalıp dışına taşan kısım var ise, bu kısmın boyunun en çok hammadde çapına eşit olması gerektiğini ifade eder (Şekil 3.9.). Bununla birlikte, $D = 1,5 d$ yerine, $D = 1,25 d$ alındığı takdirde, çubuğun kalıp dışına taşan kısmının uzunluğu $1,5 d$ olabilir. Böylece kimi hallerde aşırı büyüyeabilen kapalı kalıp uzunluğu bir miktar da olsa azaltılmış olur.



Şekil 3.9. Üçüncü Yığma Kuralı (Çapan,L., 1999)

3.4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Konu ile ilgili olarak kapalı kalıpla dövme ile gerçekleştirilmiş dişli taslak parçaları, dişli benzeri parçalar ve dişli parçalara ait çeşitli çalışmalar mevcuttur. Kuvvet ve malzeme akışı ile ilgili yorumların bulunduğu bu çalışmalarda ayrıca başlangıç parça boyutları, sertlik, sürtünme-kuvvet ilişkileri, yorulma dayanımları gibi çeşitli etütler de yer almaktadır.

Choi et al (1996) alüminyum malzeme kullanarak dişli dövülmesi ile ilgili yaptığı çalışmada Üst Sınır (Upper Bound) tekniği ile kuvvet analizi yapmış ve modül, diş sayısı, sürtünme şartları gibi parametrelerin dövme kuvvetleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Akış sınırlama oranını gündeme getiren Choi, bu oranın 0-1 arasında değer aldığını ve 0'dan 1'e yaklaştıkça akışın giderek güçleştiğini ve tam 1 olduğu anda akışın pratik olarak mümkün olmadığını söylemektedir.

Cho, H., et al (1997) dişli dövülmesinde en önemli parametrenin diş sayısı olduğunu belirtmektedir. Cho sürtünme katsayılarının $m=0.1$ ve $m=0.3$ olduğu durumlarda değişik diş sayılarında deneyler yaparak verilen bir modül için dövme kuvvetinin artan diş sayısı ile arttığını ve kapalı kalıpla dövme için optimum sayının 15 olduğunu göstermiştir. Cho ayrıca optimum dövme için yükseklikteki şekil değiştirme oranının % 15'in altında kalması gerektiğini kaydetmiştir. Kuvvet analizi üst sınır analizi ile yapılmıştır. Abdul (1986) ve Grover (1984) sırasıyla düz dişlilerin ve dişli benzeri elemanların analizini gerçekleştirmişlerdir.

Dişli benzeri parçaların dövülmesiyle ilgili deneyler yapan Chitkara ve Kim (1996), işlemin son aşamalarında son kısımların dövülmesi için kuvvetin aniden arttığına dikkat çekerek, yaptıkları kuvvet analizinde en iyi sonucun $m=0.2$ sürtünme katsayısı için çıktığını kaydetmişler ancak sürtünme katsayısının işlem sırasında değişebileceğini söylemişlerdir. Aynı konuya dikkat çeken Vickery ve Monaghan

(1995) yaptıkları ekstrüzyon tipi dövme işleminde dişli taslağı benzeri parça dövmüşlerdir. Kuvvet analizinde işlemi 3 ayrı kısımda inceleyen Vickery ve Monaghan özellikle 2. aşamada radyal malzeme akışının artarak bunun parça çapını ve iş parçası-kalıp temas yüzeyini arttırdığını belirterek sürtünme katsayısı değerinin 0.2'den 0.67'ye arttığını açıklamışlardır. Monaghan ve Brayden (1989) ise ekstrüzyon tipi dövme işlemlerindeki karakteristikleri açıklamışlardır.

Yine dişli benzeri parçalarla ve sabit sürtünme katsayısı kabulüyle çalışan El-Domiaty (1998), deneylerinde ticari saflıkta alüminyum kullanmış ve üst sınır analizi ile kuvvet tahmininde bulunmuştur. Domiaty yaptığı deneyler sonucunda işlemin başlangıç safhaları için ölçülen kuvvetin, hesaplanan kuvvetten daha büyük olduğunu, ancak şekil değiştirme işleminin sonlarına doğru değerlerin birbirine iyice yaklaştığını, genelde de sonuçların son derece birbirine yakın olduğunu açıklamaktadır.

Brayden ve Monaghan (1991) kurşun malzeme kullanarak dişli taslak benzeri parçaları dövmüşler ve sonuçların sıcak dövme proseslerine ve soğuk hassas dövme proseslerinin final aşamasına uyarlanabileceğini belirtmişlerdir. Plancak ve Bramley (1992) üst sınır tekniğini radyal ekstrüzyon parçalarına uygulamışlar ve tahmini kuvvetlerin, ölçülen kuvvetlerden ara hallerde yaklaşık %25 ve final anında % 10 daha fazla olduğunu göstermişlerdir. Plancak et al (1996) ise, sunulan tezin üst sınır hesaplarına esin kaynağı olan hesaplamalarında deneysel kuvvetlerin final aşamasında tahmini kuvvetlerden fazla çıktığını ve bunun da teoride farzedilen hız alanının deney anında tam olarak geçerli olamayacağından kaynaklandığını belirtmektedir.

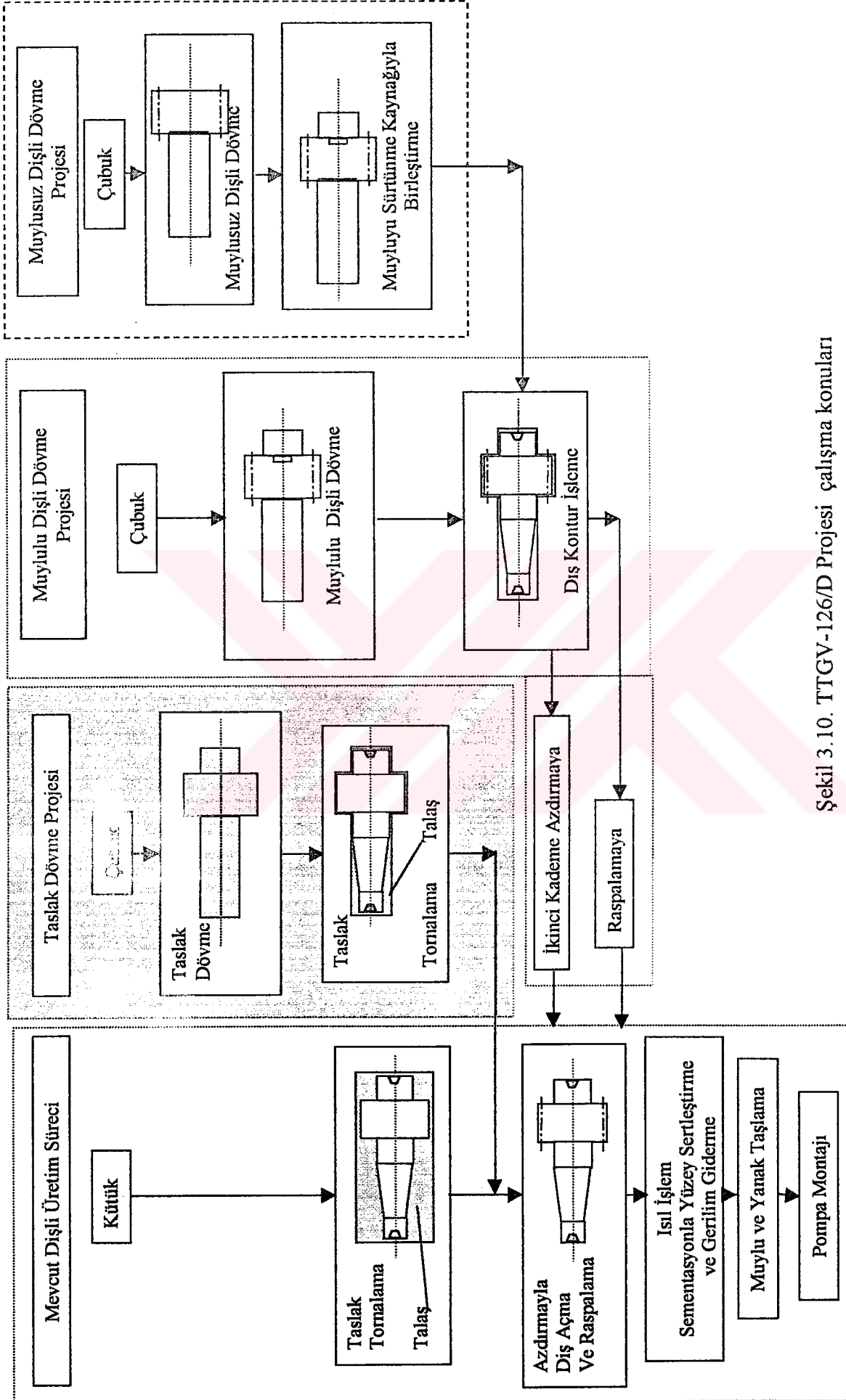
Eyercioğlu (1995), talaşlı işlenerek ve dövülerek elde edilmiş düz dişli çarkları çeşitli açılardan karşılaştırmıştır. Eyercioğlu, Davall Gear Company verilerini kullanarak, dövülmüş dişlilerin talaşlı işlemeye göre %5 malzeme tasarrufu sağladığını, ayrıca dayanımın % 20 arttığını ve üretim zamanının % 50 azaldığını belirtmektedir.

Aydoğdu (1997), dişli pompa taslaklarının dövme yolu ile üretilmesi ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Seri üretime uygun olmayan kalıplar ile yapılan deneyler sonunda taslakları işleme zamanından %37 tasarruf sağlanmıştır. Malzeme tasarrufu ise %65 düzeylerindedir. Kalıpların seri üretime uygun olarak dizayn edilmesi ve uygun ısıtma ortamının sağlanması ile daha düşük üretim zamanı ve daha yüksek malzeme tasarrufunun olacağı açıktır. Aydoğdu deney numunelerine yorulma deneyi de yapmıştır. Ancak deneyler henüz dış açılmamış taslaklarda plastik şekil değiştirmenin etkisinin pek olmadığı yağ kanalı üzerinde yapıldığı için, şekil değiştirmeden dolayı dış dibindeki muhtemel mukavemet artışı gözlenememiştir.

3.5. ÇALIŞMA PLANI

Bilindiği gibi benzer parçaların farklı üretim yöntemleri ile üretilmesi mümkün olduğunda birçok kriterin değerlendirilip seçim yapılması gerekir. Bu kriterler parçalardan beklenen mekanik özellikler, parça sayısı, üretim zamanı ve üretim maliyetleri şeklinde sıralanabilir. Bu parametrelerin etkinliğine bağlı olarak çeşitli alternatiflerden bazıları zaman zaman tercih edilebilir. Bu çalışmada dişli pompa taslaklarının üretiminde çeşitli koşullarda kullanılabilen “ Talaşlı Şekil Verme “ ve “Kapalı Kalıpta Yığma “ yöntemleri yukarıda verilen parametreler ışığında irdelenip seçim kriterleri tartışılmış, kapalı kalıpta yığmada kuvvet analizi için literatürde mevcut yaklaşımların uygunluğu araştırılmıştır.

Tez çalışmaları, destekleyen kuruluşun Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfınca desteklenen “TTGV-126/D Dişli Pompa İmalat Teknolojilerinin Geliştirilmesi” başlıklı Ar-Ge proje dosyasının dişli taslaklarının imalat teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik kısmını kapsamaktadır(Şekil 3.10.). İşbirliği yapılan kuruluştaki söz konusu dişli taslakları talaşlı şekil verme yöntemiyle üretilmektedir. Bu durumun önemli bir talaş



Şekil 3.10. TTGV-126/D Projesi çalışma konuları

kaybına yol açmasının yanı sıra, işleme zamanı ve takım maliyetleri üzerinde olumsuz etkileri de göz ardı edilemeyecek seviyelerdedir.

Bu nedenle, malzeme ve işleme kayıplarının azaltılması amacıyla kapalı kalıpta yığma yönteminin seri üretim koşullarında uygulanabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmaların bir kısmı Trakya Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık fakültesinin olanakları kullanılarak yürütülmüş, seri üretim koşulları için de “Ulu-El Pres Döküm Sanayi ve Ticaret A.Ş.’nin olanaklarından yararlanılmıştır. Yukarıda bahsedilen yöntemlerin, yatırım maliyetleri, değişken giderler, toplam üretim zamanı, malzeme kayıpları ve mekanik özellikler açısından karşılaştırması tezin konusunu oluşturmuştur.

Proje kapsamında olmak üzere, kuruluşun üretim bandında bulunan dişli pompa tipleri, üretim adetleri çıkartılmış ve öngörülen dövme yöntemine göre malzeme kayıpları hesaplanarak talaşlı üretimdekilerle karşılaştırılmıştır. Daha sonraki aşamada, pompa tiplerinden en çok üretileni seçilerek deneysel çalışmaya geçilmiştir. Deneysel çalışma prototip ve pilot parti üretimini de kapsamak üzere aşağıdaki sıraya göre geliştirilmiştir.

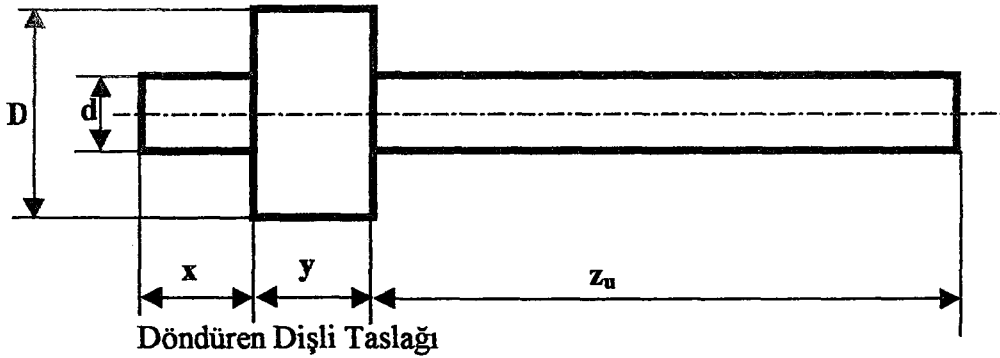
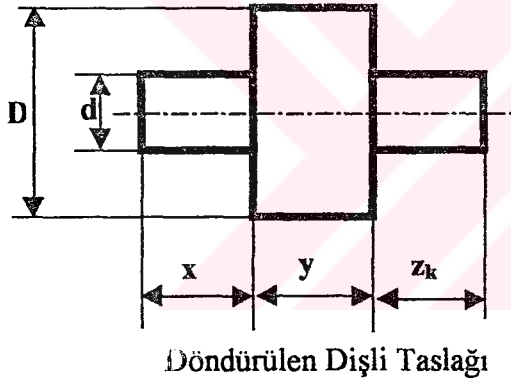
- 1) Pompa boyutları kullanılarak malzeme kayıplarının hesaplanarak karşılaştırılması.
- 2) Dişli pompa tiplerinin seçimi ve dövme kalıplarının tasarımı.
- 3) Yığma işlemi öncesi ve sonrası için malzemenin mekanik özellikleri belirlenmesi, kuvvet ölçümü ile malzeme akışının incelenmesi
- 4) Talaşlı ve yığma numunelerinin işleme zamanlarının ölçülerek karşılaştırılması,
- 5) Talaşlı işlenmiş ve yığılmış taslaklardan imal edilmiş dişlilerin ısıl işlem öncesi ve sonrası olmak üzere evolvent profil ve istikamet ölçümlerinin karşılaştırılması,
- 6) Tek diş üzerinden eğme deneyi için gerekli aparatın hazırlanması,
- 7) Tek diş üzerinden yorulma deneylerinin yapılması,

Takip eden bölümde, dövme kalıplarının tasarım ve üretim süreci açıklanmaktadır.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA PROSEDÜRÜ

4.1. YIĞMA KALIPLARININ TASARIM VE ÜRETİMİ

Destekleyen kuruluşun üretim bandındaki dişli pompa tipleri ile üretim adetleri çıkartılmış ve öngörülen dövme yöntemine göre malzeme kayıpları hesaplanarak talaşlı üretimdekilerle karşılaştırılmıştır. Bu ön çalışma sonucunda incelenen tüm pompa tiplerinden en çok üretilenleri seçilerek deneysel çalışmaya geçilmiştir. Buna göre yığma kalıplarının tasarımında dikkate alınan dişli taslak büyüklükleri Şekil 4.1. ve Tablo 4.1.'de verilmiştir.



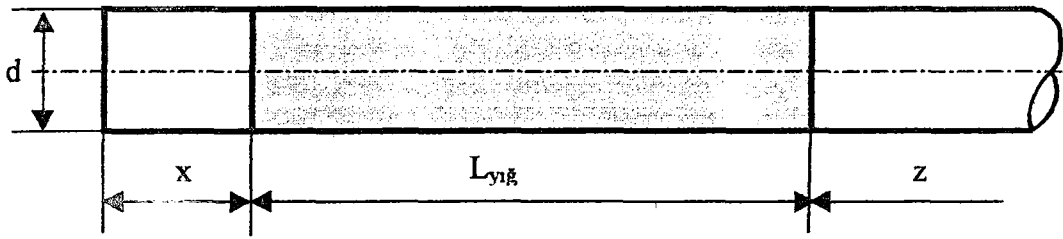
Şekil 4.1. Deneysel Çalışmada Esas Alınan Dişli Taslak Geometrisi

Tablo 4.1. Yığma Kalıpları Tasarımında Esas Alınan Taslak Büyüklükleri.

Boyutlar	x	y	y	z _k	z _k	z _u	z _u	d	D
Dişli Tipi	mm	(min) mm	(max) mm	(min) mm	(max) mm	(min) mm	(max) mm	mm	mm
Döndüren Dişli	18	7	38	-	-	73	125	20	42
Döndürülen Dişli	18	7	38	18	18	-	-	20	42

Taslaklarda, (y) bölgesi (d) çapındaki hammaddenin kapalı kalıpta yığılması yoluyla üretilen olacaktır. Buna karşılık (x) ve (z) bölgelerinde herhangi bir şekil değişikliğinin sağlanmasına gerek olmadığından, söz konusu bölgeler kalıplardaki özel kısımlarda ve şekil değiştirmeyecek şekilde tutulacaktır.

Bu durumda (y) bölgesinin , tezde seçilen yöntem kullanılarak oluşturulabilmesi için, Şekil 4.2.'de gösterilen gölgeli bölgenin yığma kurallarına uygun olarak yığılması gerekmektedir.



Şekil 4.2. Deney Numunesinde Yığılacak Kısımın Şematik Gösterimi

Buna göre Şekil 4.2.'de gösterilen yığılacak kısmın boyu, seçilen pompa tiplerine göre, hammadde çapı $d = 20$ mm. olduğundan hacim sabitliği esas alınarak

$$\frac{\pi d^2}{4} * L_y = \frac{\pi D^2}{4} * y \quad (4.1)$$

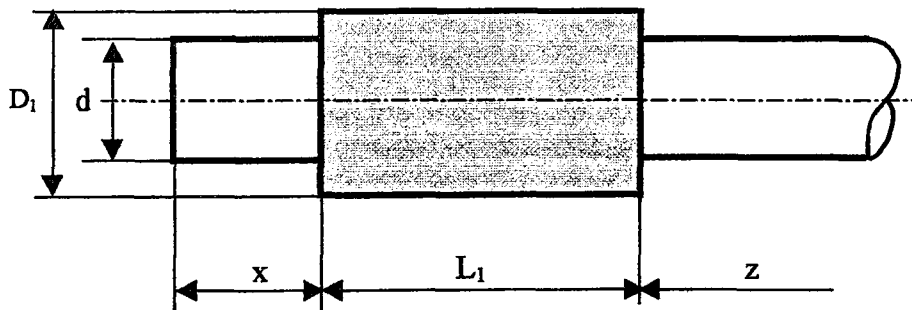
denklemini kullanılarak Tablo 4.1.'deki y değerlerine karşılık gelen $L_{yığ}$ büyüklükleri hesaplanmıştır. Buna göre ;

y_{min} için $(L_{yığ})_{min} = 31$ mm ve
 y_{maks} için $(L_{yığ})_{maks} = 168$ mm arasında değişmektedir.

Elde edilen $L_{yığ}$ büyüklükleri ; yığma kuralları ile ilgili olarak bölüm 3.2.2.'de ayrıntıları ile verilen açıklamalar ışığında irdelenmiştir.

1.Yığma Kuralına göre $L_{yığ} \leq 60$ mm için yığma işlemi tek kademe yapılarak $D = 42$ mm çapa ulaşılacaktır. Buna karşılık $L_{yığ} > 60$ mm için, burkulmanın olumsuz etkisi nedeniyle yığma işlemi tek kademe bitirilemeyecektir.

Bu durumda 2.Yığma Kuralına göre ; önce $D_1 = 1,5 d$ bağıntısından hesaplanan $D_1 = 30$ mm çap elde edilecek, bundan sonra 1. Yığma Kuralının sağlanması halinde $D = 42$ mm çapa geçilebilecektir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Birinci Kademe Sonunda Yığılmış Parça Geometrisi

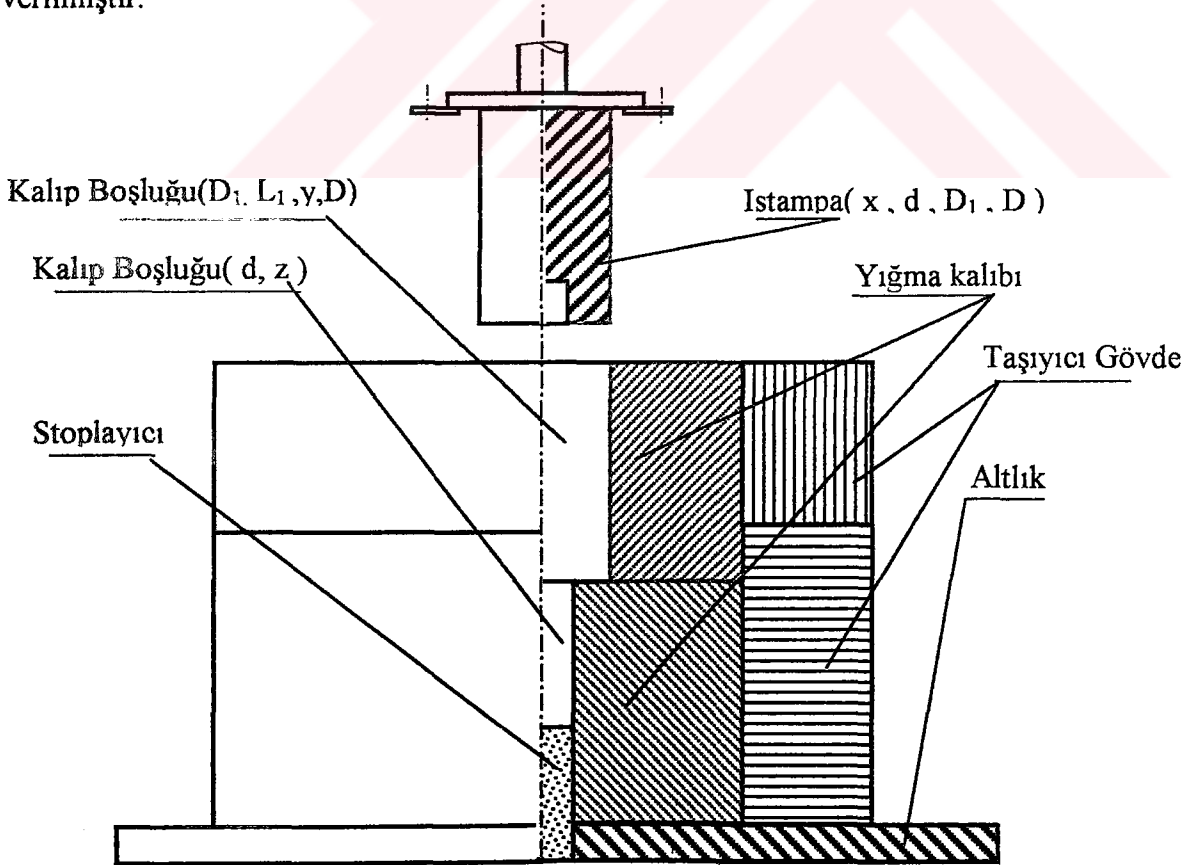
Birinci kademe sonundaki L_1 büyüklükleri,

$$\frac{\pi d^2}{4} * L_{y1} = \frac{\pi D_1^2}{4} * L_1 \quad (4.2)$$

denklemini kullanılarak hesaplanabilir. Buna göre,

$(L_{y1})_{maks} = 168$ mm için maksimum L_1 değeri elde edilecektir. Söz konusu uzunluk (4.2) denklemi kullanılarak $(L_1)_{maks} \approx 75$ mm olarak elde edilmiştir. Bu durumda 1.Yığma Kuralının test edilmesinde kullanılan oran, $((L_1)_{maks}) / D_1 = 2,5$ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda 1.Yığma Kuralının sağlanması nedeniyle ikinci kademe de $D = 42$ mm çap elde edilebilecektir.

Yukarıda verilen şekillerdeki (x) boyutları 1. ve 2. kademe ıstampalarının ucunda oluşturulmuş, (z) uzunlukları ise yığma kalıplarında kullanılan stoplayıcılar yardımıyla sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan kalıplar şematik olarak Şekil 4.4 ' te verilmiştir.



Şekil 4.4. Dişli Taslağı Dövme Kalıpları

Destekleyen kuruluştaki d ve D büyüklükleri ortak dört tip dişli pompa üretilmektedir. Tez çalışması kapsamındaki kalıp tasarımında, üretim miktarı bakımından en büyük payı alan tip seçilmiştir.

Buna ek olarak seçilen tipte x , y , z_u veya z_k büyüklükleri birbirinden farklı olabilen 60 değişik dişli pompa üretilmektedir.

Buna karşılık söz konusu farklılık içinde sadece iki ayrı x değeri söz konusudur.

Dişli genişliğini belirleyen y değerleri parça boyu kontrol altında tutulup, yukarıda da açıklandığı gibi en fazla iki kademe kullanılarak elde edilebilir.

Şaft uzunluğunu belirleyen z_u veya z_k değerleri ise kalıplardaki stoplayıcıların boyları değiştirilerek üretilebilecektir.

Bu durumda, çalışmada seçilen dişli pompa tipinin tüm farklı alt tipleri 2 dövme kalıbı kullanılarak üretilebilmiştir. Yukarıda açıklanan boyut farklılıkları, her bir kademede ikişer ıstampa ve z_u veya z_k çeşidi kadar stoplayıcı kullanılarak karşılanabilmiştir. Yığma kalıplarının üretiminde asıl maliyet kalıp blokları tarafından oluşturulduğu için, 60 farklı dişli pompanın sadece iki kalıp kullanılarak üretilebilmesi sağlanmıştır. Bu durum, dövme yöntemiyle belirli sayıdaki üretim sırasında en büyük dezavantaj olan yüksek kalıp maliyetinin makul seviyelere düşürülebilmesini sağlamıştır.

Öte yandan Şekil 4.4.'te belirtilen kalıplarda, "ıstampa" ve "yığma kalıpları" sıcak metal ile doğrudan temasta, diğerleri ise taşıyıcı eleman durumundadırlar. Bu durum kalıpların üretimi sırasında dikkate alınmış, "ıstampa" ve "yığma kalıpları"nda 1.2344 malzeme numaralı "Sıcak iş takım çeliği", diğerlerinde genel imalat çelikleri kullanılmıştır.

Sıcak iş takım çeliği kalıplar talaşlı işleme ile istenilen boyutlara getirilmiş ve 1050 °C’de yağda su verilerek 550 °C’de tavlammıştır. Bu işlemten sonra kalıplar taşlama ile son boyutlarına getirilmiştir. Kullanılacak mekanik prese uygun olarak işlenen bir kabinin içine yerleştirilen 1. ve 2. kademe kalıpların sertliği 54 HR_C olarak ölçülmüştür. Kalıp malzemesi olarak kullanılan 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. 1.2344 Sıcak İş Takım Çeliğinin Kimyasal Bileşimi

C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
0.37-0.42	0.3-0.5	0.9-1.2	Max. 0.03	max. 0.03	5.0-5.5	1.2-1.5	0.9-1.1

4.2. YIĞMA DENEYLERİ

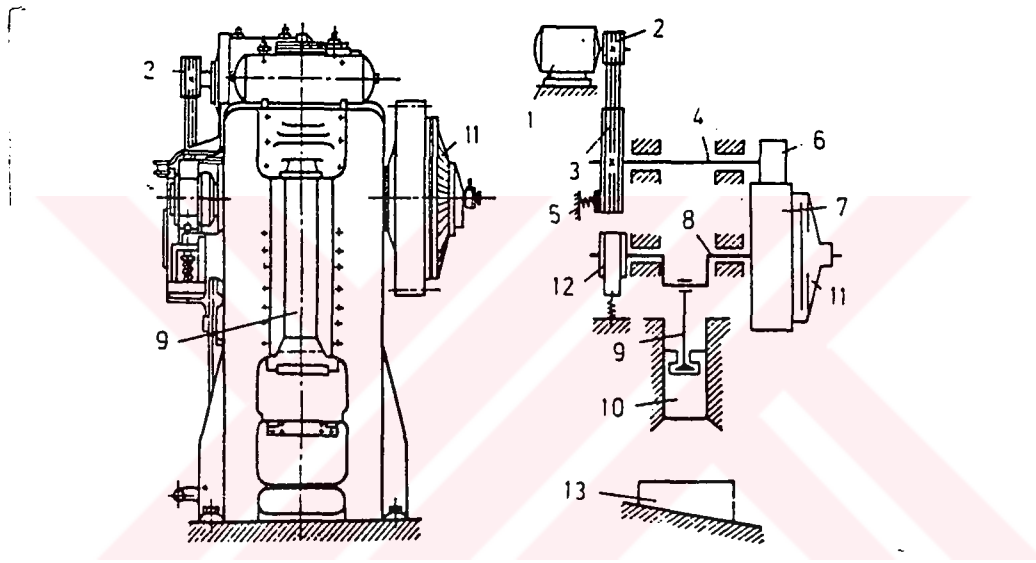
Bölüm 4.1.’de ayrıntıları açıklanan tasarım ve imalat sürecine uygun olarak, yine aynı bölümde belirtilen 60 alt tipten altısına ait taslakların yığma deneyleri, seri üretim koşullarında olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Deneyler Ulu-El Pres Döküm Sanayi ve Ticaret A.Ş.’ deki 250 metrik ton kapasiteli kranklı pres kullanılarak yürütülmüştür.

Bölüm 6’da ayrıntılarıyla açıklanacak olan ve yığma kuvveti hesaplamalarıyla ilgili yaklaşımları daha hassas olarak ölçebilmek üzere; yığma deneylerinin bir kısmı Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, plastik şekil verme laboratuvarındaki 150 metrik ton kapasiteli hidrolik pres kullanılarak tekrarlanmıştır.

Bu nedenle yığma deneyleri ile ilgili çalışmalar iki alt başlıkta verilecektir.

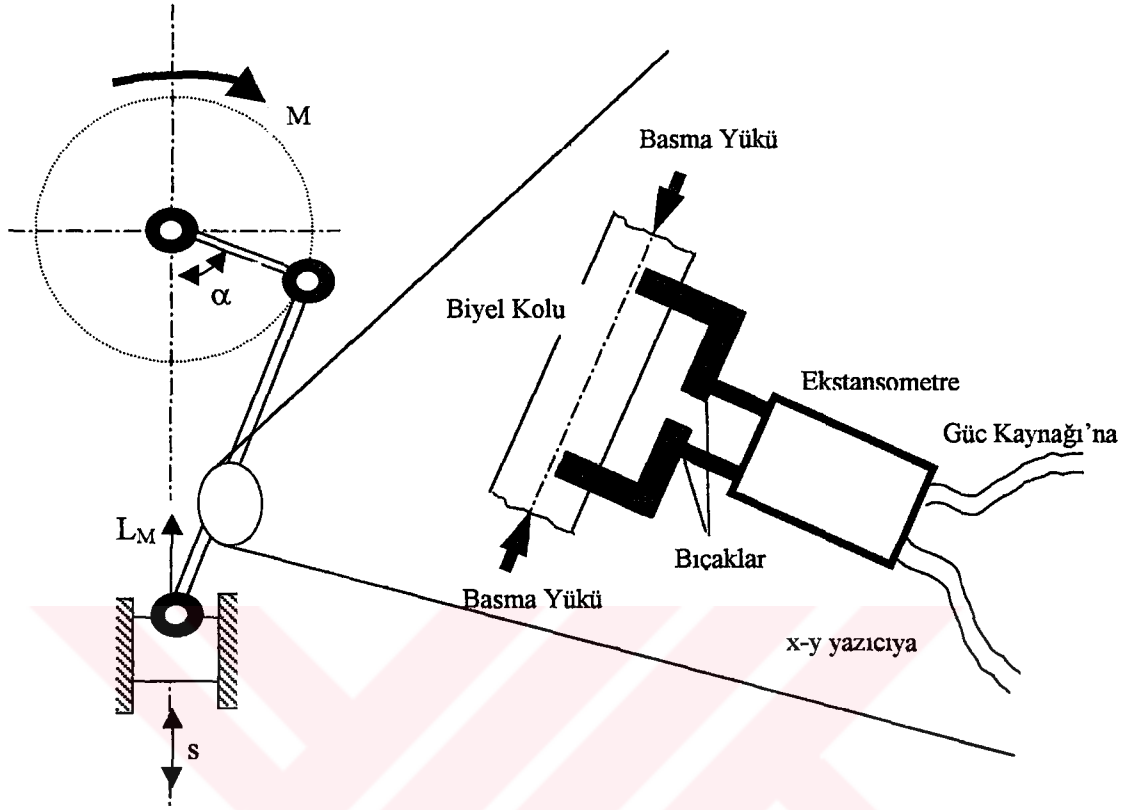
4.2.1. Kranklı Mekanik Pres ile Gerçekleştirilen Deneyler

Bu bölümde yer alan çalışmalar daha önce belirtildiği gibi 250 metrik ton kapasiteli kranklı pres kullanılarak yürütülmüştür. Mekanik presler strok sınırlı makineler olup koç hızı ile yük strokun her konumu için hesaplanabilir. Şekil 4.5.'te bir kranklı sıcak dövme presinin çalışma mekanizması görülmektedir.



Şekil 4.5. Kranklı Sıcak Dövme Presinin Çalışma Mekanizması; 1-Motor, 2-Kasnak, 3-Volan, 4-Yardımcı Mil, 5-Yardımcı Fren, 6 ve 7-Dişli, 8-Krank Mili, 9-Biyel, 10-Koç, 11-Kavrama, 12-Fren, 13-Tabla. (Çapan, L., 1987)

Bu tip preslerde A.Ö.N.'ya yakın konumlarda dövme yükü, aşırı yük tertibatı yoksa, presin nominal yükünü aşabilir. Bu durumda pres bloke olur ve volan durur. Bütün enerji pres gövdesini, biyeli ve tahrik mekanizmasını zorlayan enerjiye dönüşebilir (pres binmesi). Pres serbest hale getirilemezse takımların kaynakla kesilmesi gerekebilir. Şekil 4.6.'da kranklı presin koç-krank mekanizması görülmektedir.



Şekil 4.6. Kranklı Preslerde Koç-Krank Mekanizması ve Kuvvet Ölçme Düzenegi (S=Strok, α =A.Ö.N.'dan önceki krank açısı, L_M =Yük, M=Moment)

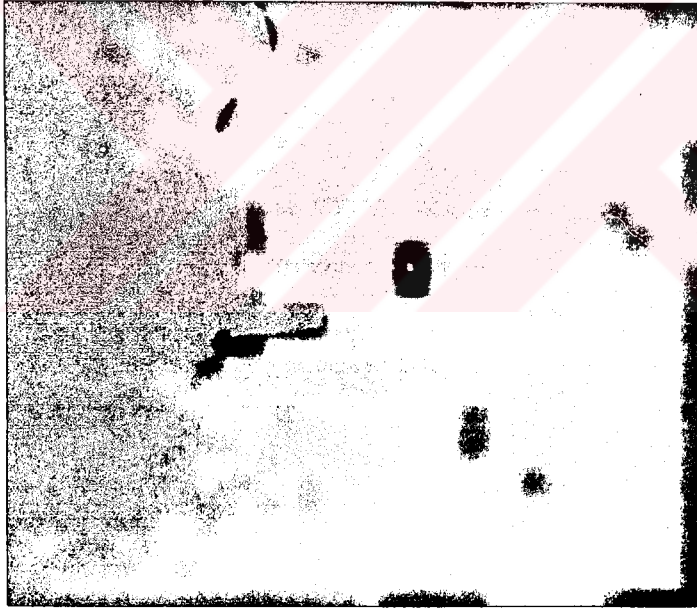
Mekanik preslerin koç hızları ampirik olarak belirlenebilir. Pres üreticileri tezgahlarını A.Ö.N.'nın biraz üzerindeki nominal yüke göre sınıflandırdıklarından maksimum kuvvetin stroktan yaklaşık 1/8" yukarıda olması gerekliliği göz önünde bulundurularak bu değer $h=3$ mm. alınmıştır. Buna göre koç hızı;

$$V = \frac{\pi n h \sqrt{(S/h) - 1}}{30} \quad (4.3.)$$

eşitliği uyarınca $V=62$ mm/sn. olarak belirlenmiştir.

Dövme deneylerinde kuvvetin ölçülmesi amacıyla kranklı presin biyel kolundan faydalanılmıştır. Biyel kolu, prensip itibarı ile iki ucu mafsallı bir çubuk olduğundan

dövme işlemi esnasında kalıplara iletilen kuvvet daima kolun eksenini üzerinde olacaktır (Beer, F., 1985). Böylece her işlem sırasında biyel kolu basma yükü etkisi altında kısılmaya maruz kalmaktadır. Değişen yükler için kısılma miktarı farklı olacağından, biyel kolunun yük etkisi altındaki şekil değiştirme miktarının hassas biçimde ölçülmesi, deneylerdeki kuvvet değerlerini belirlemek için yeterli olacaktır. Bu amaçla Şekil 4.6.'da gösterilen düzenek kurulmuştur. Anılan düzenekte, Şekil 4.7.'de fotoğrafı verilen 2.5 mm. stroklu INSTRON 2620-602 markalı dinamik ekstansometreden yararlanılmıştır. Ekstansometre temel olarak, iki adet ince yaprak yayın üzerine yapıştırılmış olan 4 adet Strain-gage vasıtasıyla oluşturulmuş bir Wheatstone köprüsü üzerinden elektrik sinyali alma prensibine dayanmaktadır.



Şekil 4.7. INSTRON 2620-602 dinamik ekstansometre

Ekstansometre, biyel koluna monte edilen çubuklara, bıçaklar vasıtasıyla tutturulmuştur. Ekstansometreden alınan 4 ucun ikisi doğru akım kaynağına, diğer ikisi

de $x(t) - y(t)$ yazıcısına sokulmuş ve yazıcıdan alınan sinyal kaydedilmiştir. Sinyallerin karşılık geldiği kuvvet değerlerinin bulunması amacıyla alüminyum çubuklar işlenerek düz ıstampalarla basma deneyine tabi tutulmuştur. Literatürle karşılaştırma kolaylığı açısından $\phi 25$ mm. çapında ve $h = 32.5$ mm. yüksekliğine işlenen çubuklar, çeşitli yüksekliklere yığılarak gerçek genleme değerleri hesaplanmış, buradan diyagramlar yardımıyla gerçek gerilmeler belirlenerek (Akata et al, 1995) yığma kuvvetleri bulunmuştur. Alüminyum parçaların yığılması sırasında alınmış olan sinyal değerleri, dişli taslaklarının yığılması sırasında alınan değerlerle karşılaştırılarak dövme kuvveti değerleri belirlenmiştir.

4.2.1.1. Deney Parçası Malzemesi

Destekleyen kuruluşta dişli imalatında kullanılan malzeme , özel bir sementasyon çeliğidir. Çeliğin kimyasal analizi aşağıdaki Tablo 4.3.' de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Deney Malzemelerinin Kimyasal Analizi

	C(%)	Si(%)	Mn(%)	Cr(%)	Mo(%)	Ni(%)
Min.	0.17	0.15	1.20	X	Y	Z
Max.	0.23	0.35	1.50			

$$(X + Y + Z) < 0.8$$

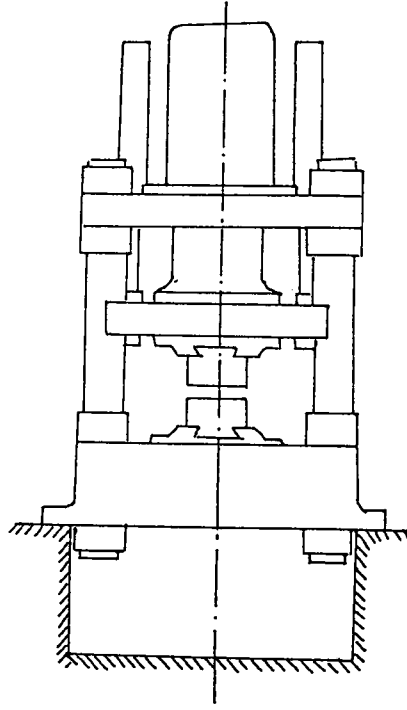
4.2.1.2. Deney Malzemesinin Mekanik Özellikleri

Deney malzemesinin akma sınırının belirlenmesi amacıyla yapılan çekme deneyi sonucunda malzemenin çekme dayanımı $\sigma_{\text{ç}} = 553$ Mpa olarak bulunmuştur. Böylece akma sınırı $\sigma_a = \sigma_{\text{ç}} \times 0.8$ eşitliği kullanılarak yaklaşık olarak $\sigma_a = 443$ Mpa olarak elde edilebilir. Ancak bu değer malzemenin soğuk şekil vermedeki akma dayanımı olup,

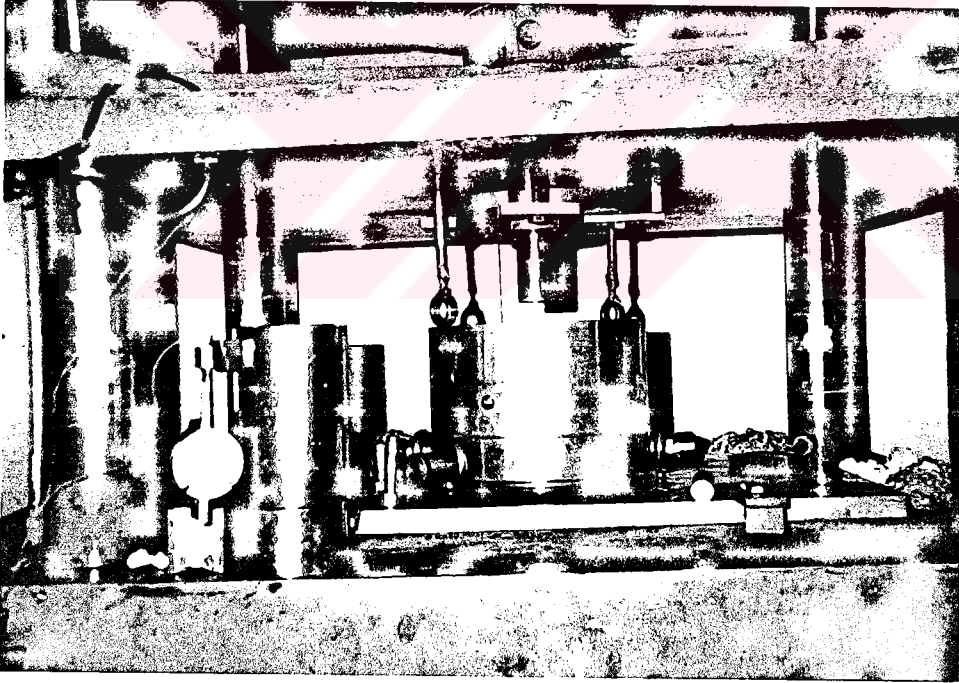
kuvvet hesaplamalarındaki akma dayanımı olarak kullanılmamış, yorulma deneyleri sırasında deney numunesine uygulanacak gerilmeleri belirlemek için amacıyla faydalanılmıştır. Kranklı mekanik preste yığma deneyleri 900°C’de gerçekleştirilmiştir. İşlem bir sıcak şekil verme olduğundan formüllerde yer alan akma sınırı $\sigma_{ak} = C \varepsilon^m$ eşitliği ile belirlenmiştir. Buna göre söz konusu çeliğin kimyasal özellikler bakımından benzeri bir çelik için $C = 25200$ psi (168.84 Mpa) ve $m = 0.07$ olarak okunur (Altan, T., 1983). Seri üretim koşullarında gerçekleştirilmiş olan dişli taslak dövme deneylerinde, taslağın şekillendirildiği dövme kuvvetleri yukarıda anlatıldığı şekilde ölçülmüş ve parçaların boyut kontrolleri yapılarak kaydedilmiştir. Sonuçlar ilerleyen bölümlerde sunulacaktır.

4.2.2. Hidrolik Pres Deneyleri

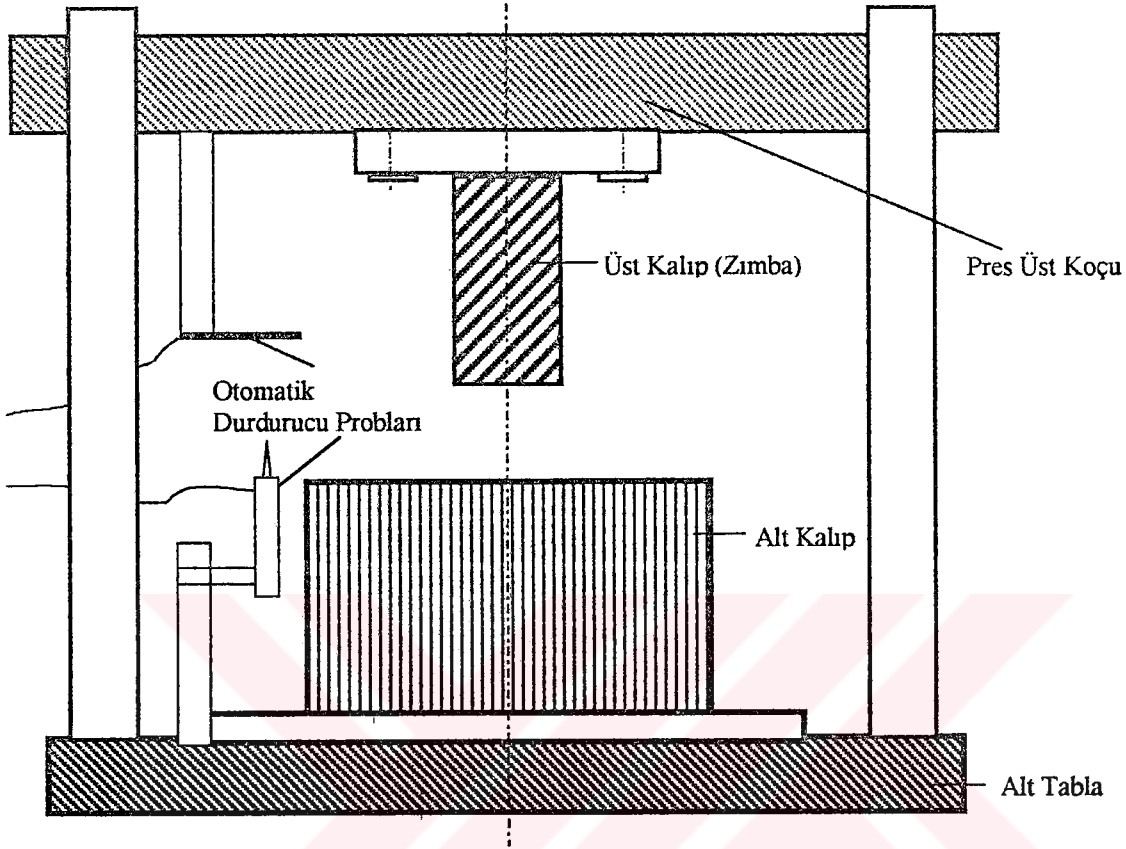
Bu bölümde yer alan çalışmalar Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi atelyesinde mevcut bulunan 150 metrik ton kapasiteli, 5 mm/sn. koç hızlı bir hidrolik pres kullanılarak, daha önceki çalışmalarda kullanılmış (Aydoğdu, M., 1997) kalıplarla gerçekleştirilmiştir. Hidrolik presler yük sınırlı makineler grubunda olup, dövme işlemi yapabilme kabiliyetleri maksimum yük kapasiteleri ile sınırlandırılmıştır. Strok boyunca her konumda maksimum kuvvet elde edilebileceği için bu makineler bütün strok boyunca hemen hemen sabit kuvvet gerektiren ekstrüzyon tipi şekillendirme işlemlerine uygundur. Şekil 4.8.’de bir hidrolik presin şematik resmi görülmektedir. Hidrolik pres deneyleri, yığma kuvveti ile ilgili ölçüm ve yaklaşımların, laboratuvar şartlarında yapılan deneyler ile de karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Bölüm 5’te bahsedilecek olan ince kesitlerin yığılması sırasındaki kuvvet analizi de, hidrolik preste gerçekleştirilen yığma deney parçalarına uygulanarak sonuçlar tartışılmıştır. Deneylerin gerçekleştirildiği kalıp düzeneğinin fotoğrafı Şekil 4.9.’da, şematik resmi ise Şekil 4.10.’da gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Hidrolik Pres (Çapan, L., 1987)



Şekil 4.9. Deneylerde Kullanılan Kalıp Düzenegi



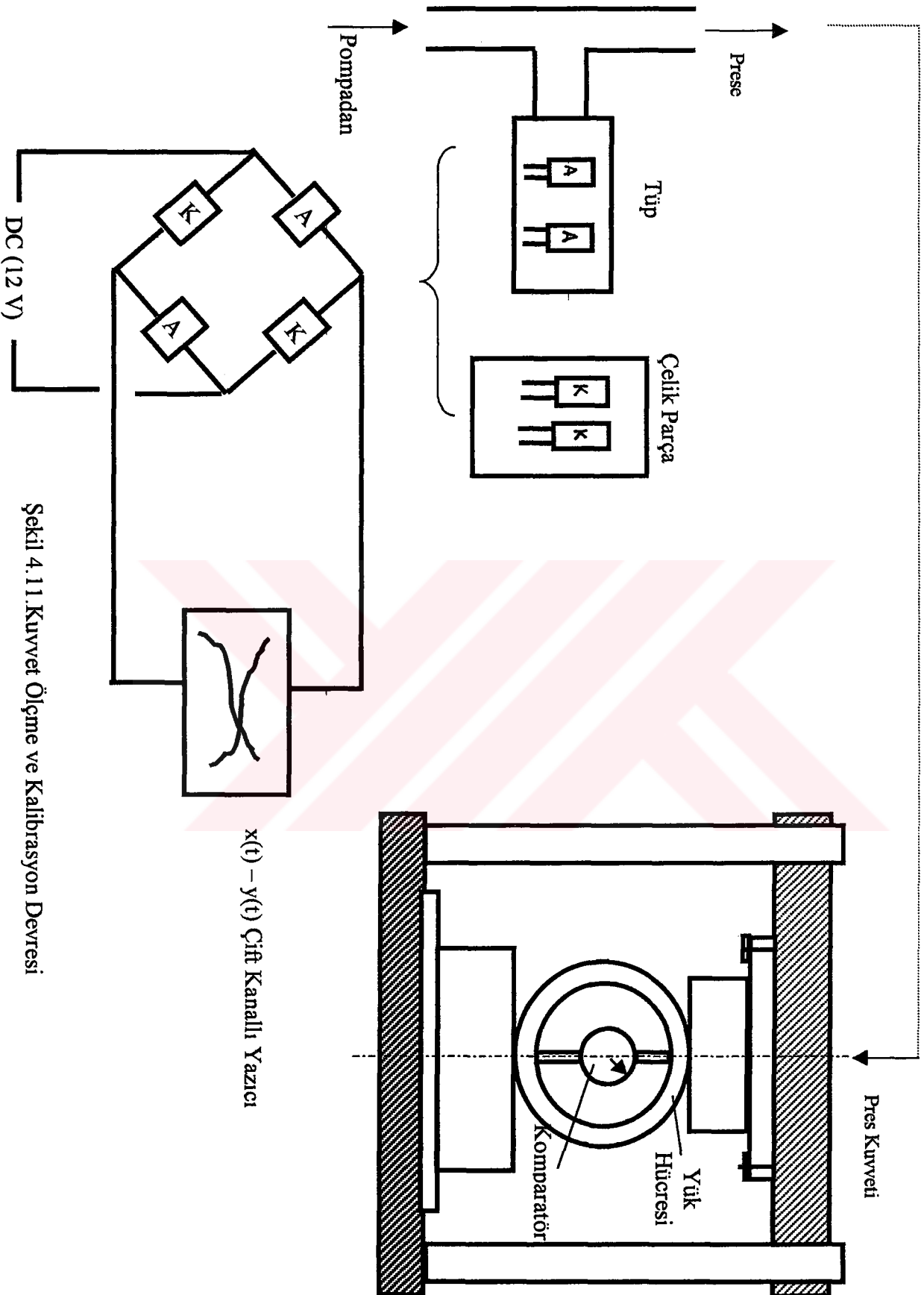
Şekil 4.10. Hidrolik Pres Deneylerinde Kullanılan Kalıp Düzenegi

Deneylerde ticari saflıkta kurşun malzeme kullanılmıştır. Yapılan basma deneyleri sonucunda akma sınırı $\sigma_a = 2 \text{ kgf/mm}^2$ ($\sim 20 \text{ Mpa}$) olarak ölçülmüştür. Hammadde boyutları, seçilen pompa tipleri arasında yığılmış kısım yüksekliği (y) en düşük olan pompa tipinin ölçülerine göre işlenmiştir. Zımbanın düşey hareketi, uygun bir otomatik durdurma devresi yardımıyla kesilerek, deneyler istenilen yığma yüksekliklerinde durdurulmuştur (Akata, E., 1987).

Hidrolik presin silindirine yağ gönderen valften bir T bağlantısı alınarak ek bir devre kurulmuş, bu devrenin ucuna, dolu kesitli bir çubuğun içi $t=2 \text{ mm}$. olacak şekilde boşaltılarak silindir şeklinde bir depo yapılmıştır. İki adet strain-gage (aktif) bu deponun

üstüne, iki adet strain-gage ise dikdörtgen kesitli bir çelik parçanın üzerine yapıştırılmıştır. Böylece yapıştırılan bu 4 adet strain-gage yardımıyla bir Wheatstone köprüsü oluşturulmuştur. Köprüden alınan 4 ucun ikisi ile doğru akım kaynağına, ikisi ile de $x(t)$ - $y(t)$ yazıcısına girilmiştir. Böylece basınçlı borudaki uzamalar elektrik sinyaline dönüştürülerek kayıt alınmıştır. Kuvvet sinyallerinin kalibrasyonu daha önce oluşturulmuş bir yük hücresinin deformasyonları yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Taşkın, V.,1995). Yığma deneyleri sırasında maksimum kuvvet ve yığma yüksekliği ölçülerek kaydedilmiştir. Kuvvet ölçme ve kalibrasyon devresi Şekil 4.11.'de verilmiştir.





Şekil 4.11. Kuvvet Ölçme ve Kalibrasyon Devresi

4.3. TEK DİŞ ÜZERİNDEN EĞİLME YORULMASI DENEYLERİ

4.3.1. Amaç

Tek diş üzerinden eğilme yorulmasının başlıca amacı, dişin tek yönlü eğilme yüklemesindeki dayanımını belirlemektir. Deney; hammadde geometrisi, malzeme, üretim yöntemi, ısıtma işlemi ve bitirme gibi parametrelerin ürünün dayanımına etkilerinin belirlenmesi için oldukça uygundur.

Normal dişli deneyleri hem oldukça pahalıdır, hem de zaman kaybına yol açar. Fazla yükleme halinde dişli kırılabilir gibi, eksenden hafif kaçıklık ta sonuçların yanlış analiz edilmesine yol açar. Bunları göz önünde bulundurarak eğilme yorulmasının tespitinde dönme hareketinin olmadığı bir deneyin gerçekleştirilmesi öngörülerek, hem talaşlı işlenmiş hem de yığılmış taslaklara azdırma çakısı ile diş açılmış ve bu şekilde elde edilen dişliler ısıtma işlemli ve ısıtma işlemsiz hallerde iken yorulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Böylece, Cm80f sementasyon çeliği kullanılarak gerçekleştirilen dişli taslak dövme deneylerinden sonra, plastik şekil vermenin dişli dişlerinin mukavemetinin üzerine etkilerinin araştırılması düşünülmüştür. Bu alt bölümde tek diş eğme deneyinin ayrıntıları ve deney aparatı hazırlama kısmı anlatılacaktır.

4.3.2. Standart Yorulma Numunesi ile Tek Diş Deneyinde Yorulma Dayanımları

Açısından Farklar

Tek diş üzerinden yorulma deneyinde standart deneye göre bir takım üstünlükler vardır (Eyercioğlu, Ö., 1995). Bunlar şöyle sıralanabilir:

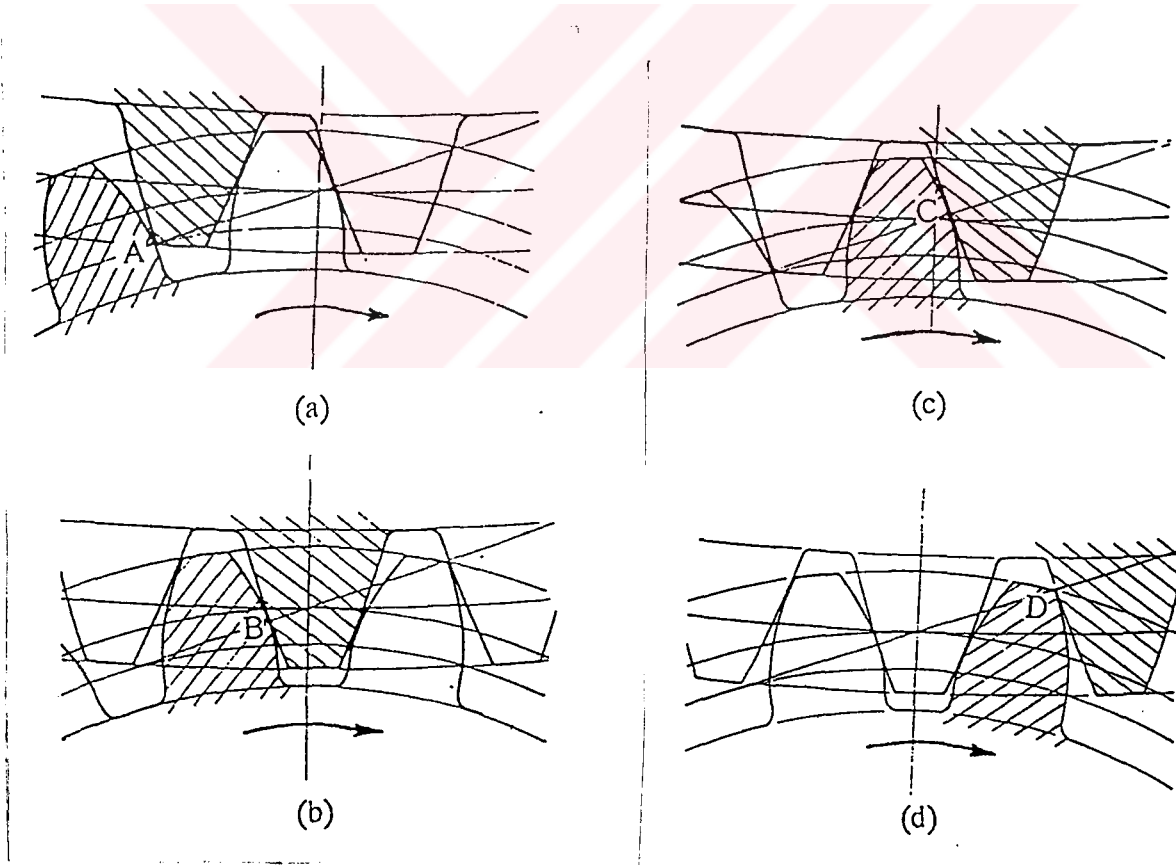
- 1) Normal deneylerle tespit edilen diş dibi gerilme değerinde göz önüne alınması gereken bir takım farklar mevcuttur. Değişik araştırmacılar tarafından yapılan deneylerde aynı malzeme için 2:1 oranına kadar sapma mevcuttur.
- 2) Standart numunelerde dişdibi hassas olarak işlendiği için, diş dibinin yüzey bitirme işlemlerindeki düzensizlik ve etkilerinin tam olarak anlaşılması mümkün değildir.
- 3) Diş temel olarak, bir ankastre mesnetli çubuuktur ve hasarın olduğu noktadaki gerilme, yüklemedeki temas ile oluşan gerilme dağılımından etkilenebilir.
- 4) Standart deney numunesinde, değişik üretim metotlarıyla üretilmiş dişlilerdeki tane yönelmesi ve/veya malzeme akışını tespit etmek oldukça güçtür.

4.3.3. Yükleme Noktası

Elde edilen deney sonuçlarının sağlıklı biçimde yorumlanması açısından dişli dişini yükleme yeri oldukça önemlidir. Üstelik gerilme, diş dibindeki kritik bir noktada olduğundan bu durum yükleme noktasının yerinin doğru olarak tespiti ile yakından ilgilidir. Dişli mümkün olduğunca hassas işlendiğinde yük dağılımı açısından dişin ucu en kritik yer olmayıp önemsizdir (Shigley, J. E., 1977). Hemen hemen tüm dişli dizaynlarında, tüm yükün dişin en üst noktasına gelmesinden kaçınmak amacıyla dişlerin temas oranı olabildiğince yüksek seçilir. En istenmeyen yükleme hali ise, tüm yükü tek bir çift dişin taşıdığı haldir. En zor yükleme şartlarını belirlemek için, dişli dönerken bir çift dişteki yük değişimini inceleyip analiz etmek gerekir. Çalışır durumdaki dişli dişinin analizi ve yükleme noktası yerinin belirlenmesi aşağıda açıklanacaktır.

4.3.4. İşletme Şartlarında Dişler

Şekil 4.12.'de bir çift dişteki temasın, dişli çalışır haldeki durumu adım adım gösterilmektedir. a)'da bir çift diş, temasa yeni başlamışlardır. Her diş üzerine düşen yükü taşımaktadır. Tüm yük şekilde taranmış halde gösterilen bu iki diş üzerindedir. b)'de de durum aynıdır. Döndürülen dişli üzerindeki C noktasının dişli merkezine olan dikey (radyal) uzaklığı dişli temasının maksimum kuvvet noktası (HPSTC) olarak isimlendirilir. Dişli BC arasında AB ve CD arasındakinden daha fazla zorlanır. C noktası geçildikten sonra d) şıkında gösterildiği üzere dişler D noktasında son temaslarını gerçekleştirirler ve temas hali sona erer.



Şekil 4.12. Bir Dişli Çiftinin Çalışır Haldeki Temas Durumu (Eyercioğlu, Ö., 1995)

4.3.5. Tek Diş Temasında Maksimum Kuvvet Noktasının Yerinin Tespiti

Şekil 4.13.'te de görüldüğü üzere döndüren ve döndürülen dişliler arası temas A noktasında başlar ve D'de sona erer. Temas mesafesi yani AD arası uzunluk;

$$AD = \sqrt{R_{di}^2 - R_{te}^2} + \sqrt{R_{di}^2 - R_{te}^2} - (R_{yu} + R_{yu}) \sin \phi \quad (4.4)$$

C noktası, yeri belirlenmek istenen noktadır.

$$AO = \sqrt{R_{di}^2 - R_{te}^2} - \sqrt{R_{yu}^2 - R_{te}^2} \quad (4.5)$$

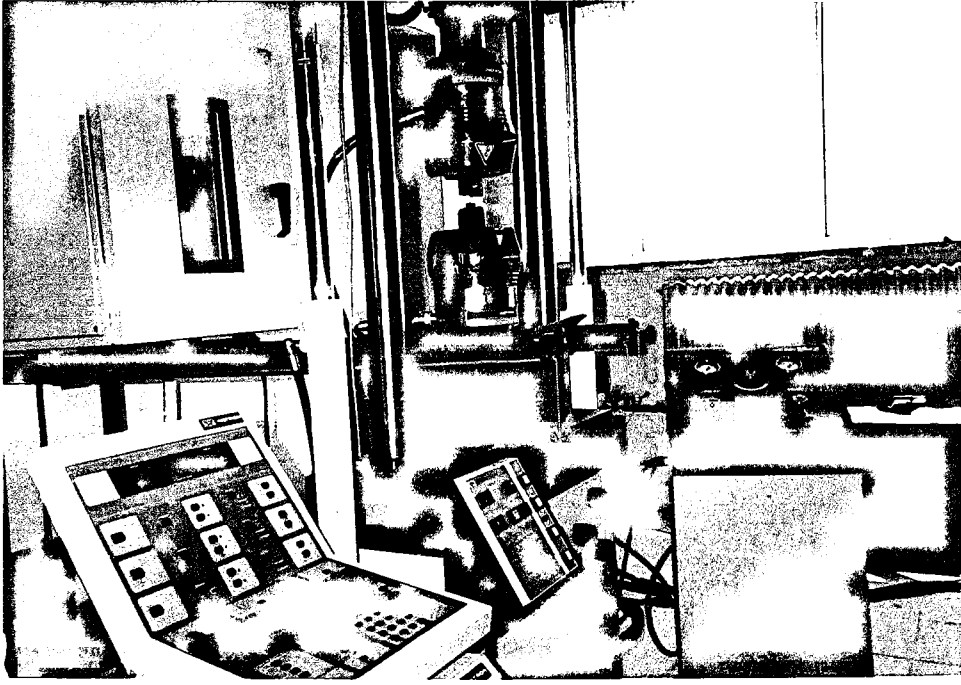
$$OC = AC - AO = \pi m \cos \phi - AO \quad (4.6)$$

O₁CO üçgeninden faydalanarak R_C'yi tespit edebiliriz:

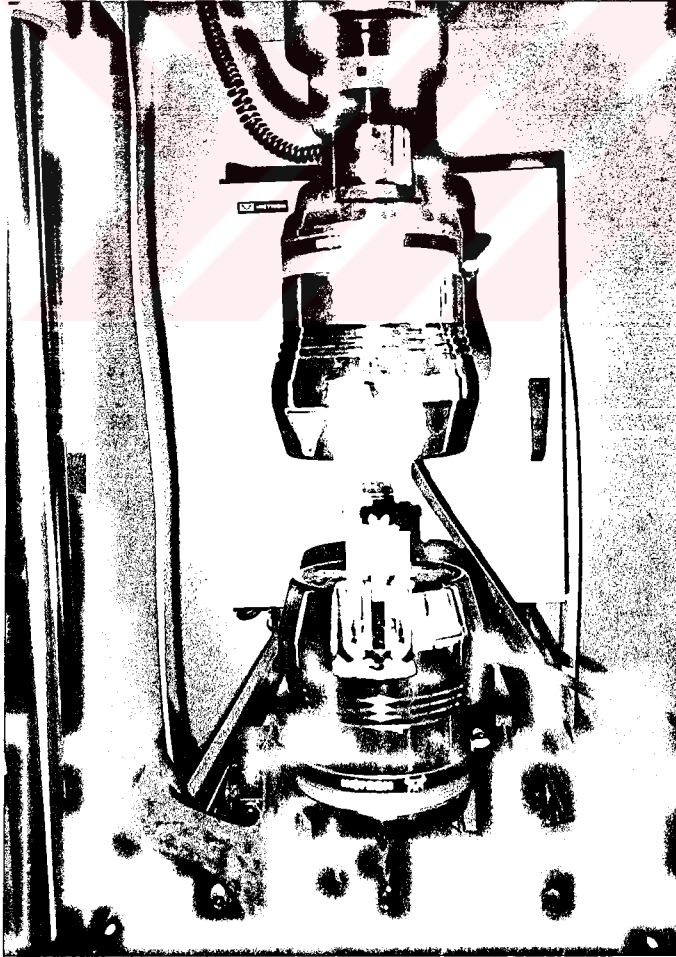
$$R_C = \sqrt{R_{yu}^2 + OC^2 - 2 R_{yu} OC \cos(\phi + 90)} \quad (4.7)$$

C noktasının x ve y koordinatları ise $x = R_C \sin \alpha$ ve $y = R_C \cos \alpha$ olur (Eyercioğlu, Ö., 1995).

$y = R_C \cos \alpha$ merkezden olan radyal uzaklığı verdiğinden aradığımız değerdir. Yapılan hesaplar sonucu $y=17.4$ mm. olarak tespit edilmiştir.

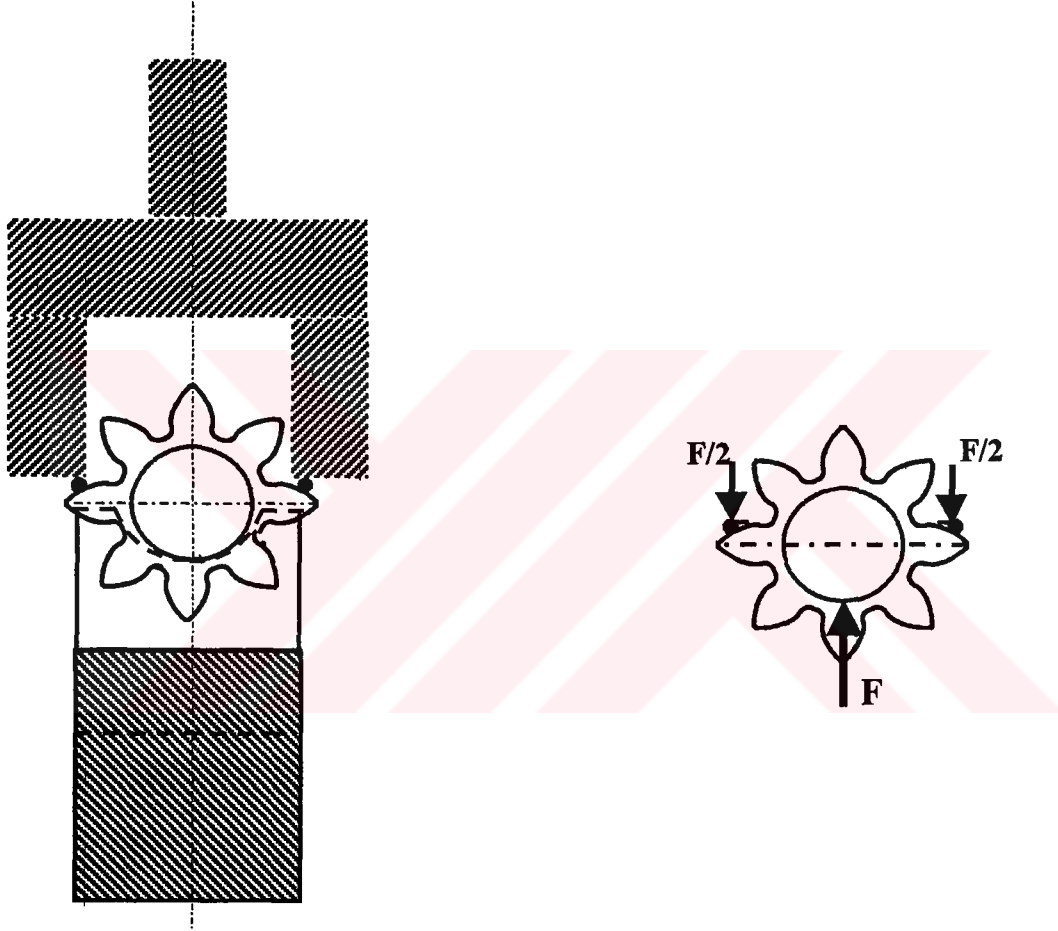


Şekil 4.14. INSTRON 8501 Üniversal Test Cihazı



Şekil 4.15. Tek Diş Üzerinden Eğilme Yorulması Deney Düzenegi

ölçülmüştür. Üst tarafta dişlilere basma kuvveti uygulayan aparatta, aralarında 34.8 mm. mesafe olan iki adet kanal açılarak 2 mm. çapında iki adet pim bu kanallara yapıştırılmıştır. Böylece kuvvetin tek bir noktadan etkimesi sağlanmıştır.

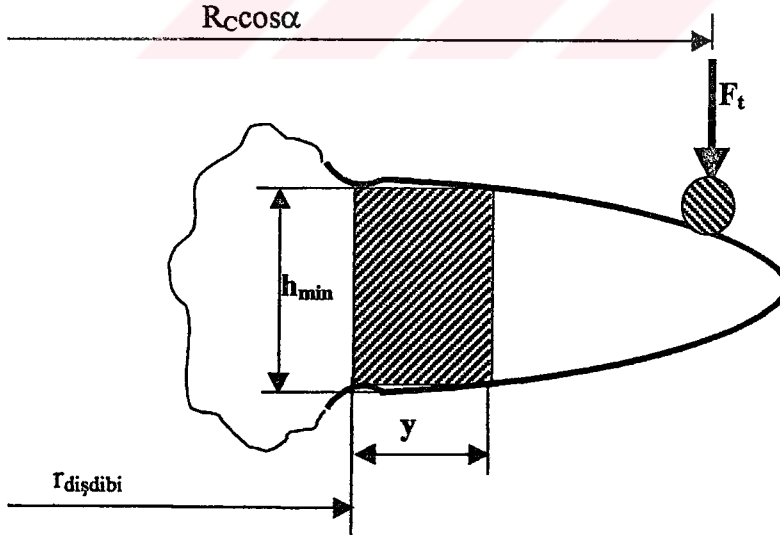


Şekil 4.16. Tek Diş Üzerinden Eğilme Yorulması Deney Aparatları

4.3.7. Yorulma Deneyleri

Yorulma deneyleri yukarıda açıklanan cihaz ve aparatlarla, yük, belirlenen maksimum yük noktasına gelecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneyler dört ayrı gruptaki deney parçalarına uygulanmıştır. İlk grup parçalar talaşlı işlenerek azdırma ile diş açılmış numunelerdir. İkinci gruptaki parçalara, ek olarak sementasyon ısıtıl işlemi uygulanmıştır. Üçüncü grup parçalar dövme yöntemi ile taslak haline getirildikten sonra yine azdırma ile diş açılmış parçalardır. Son gruptakiler ise yine yığıldıktan sonra dişli haline getirilmiş ve sementasyon işleminden geçmiş parçalardır.

Şekil 4.16'da belirtilen eğilme yorulması aparatında, deney tezgahı tarafından tek dişe uygulanan kuvvet $F_t = F/2$ değerindedir. Böylece diş, bu kuvvet etkisinde dibinden eğilmeye ve kırılmaya zorlanacaktır. Dişli bir ucu mesnetli bir çubuk olarak kabul edilebileceğinden Şekil 4.17.'de gösterildiği gibi yüklenecek ve eğilecektir.



Şekil 4.17. Tek Dişin Şematik Olarak Yükleme Durumu

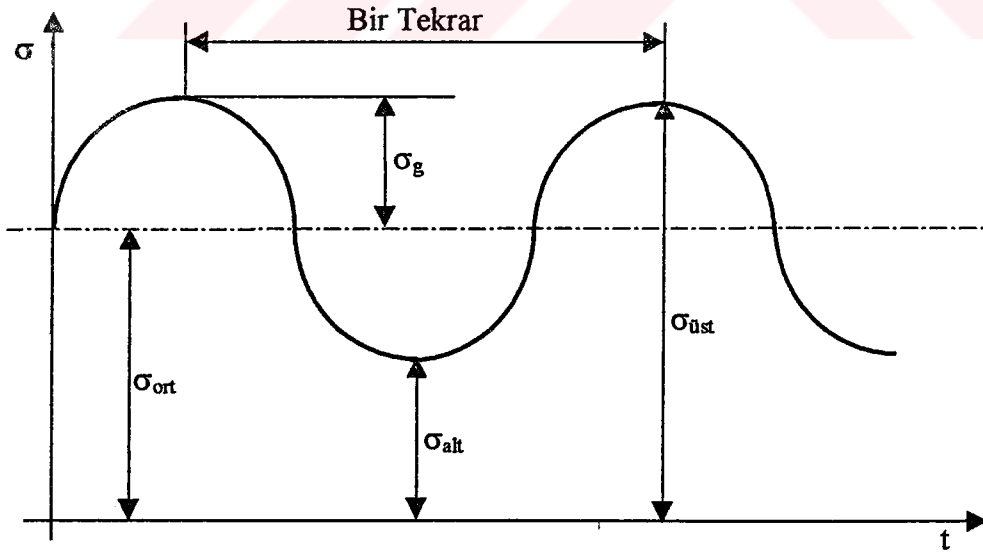
Uygulanan yük etkisinde maksimum gerilme dış dibinde oluşacaktır. Eğilme gerilmesini, $W_{eğ}$ eğilme mukavemet değeri ve $W_{eğ} = I / c$ olmak üzere;

$$\sigma_{eğ} = M_{eğ} / W_{eğ} \text{ olarak yazmak mümkündür.}$$

Parça geometrisine bağlı olarak $M_{eğ} = 5.133 * F_t$ olarak belirlenmiştir.

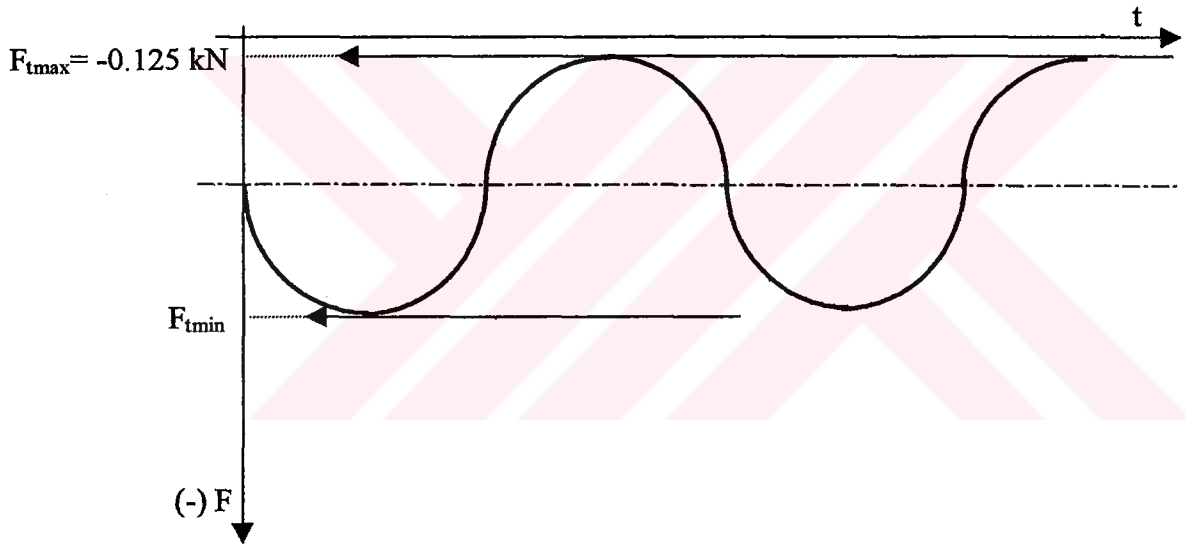
$$W_{eğ} = \frac{I}{c} = \frac{y h^2_{min}}{6} \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

Böylece eğilme gerilmesi $\sigma_{eğ} = (30.8 * F_t) / y h^2_{min}$ denklemi uyarınca belirlenir. Deneylerin mümkün olduğunca hassas olması amacıyla her deneyden önce h_{min} ve y değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Önceden tespit edilmiş gerilme değerleri eşitlikte yerine konarak, uygulanacak kuvvet değerleri belirlenmiştir. Şekil 4.18.'de yorulmada kullanılan değişkenlerin tanımı verilmiştir.



Şekil 4.18. Yorulmada Kullanılan Değişkenlerin Tanımı

Bir ön basma gerilmesine tabi tutulan numunelerde σ_{ort} ile σ_g arasındaki fark sabit kalacak şekilde $\tilde{\sigma} = \sigma_{ort} \pm \sigma_g$ ifadesi gereği eşdeğer gerilme uygulanmıştır. Amaçlanan yükleme hali, parçanın her bir çevrimde basma yükü ve yüksüz halde olması iken, parçaların yükleme aparatlarından kurtulmaması amacı ile $F_{tmax} = -0.125$ kN'luk bir yükün her çevrimde maksimum yük olmasına karar verilmiştir. Örnek olması amacıyla uygulanan yükleme hali Şekil 4.19.'de verilmiştir. Böylece parça F_{tmax} ve F_{tmin} değerlerinde daima basma kuvvetine tabi kalmıştır.



Şekil 4.19. Yorulma Deneylerinde Uygulanan Yükleme Halleri Örneği

BÖLÜM 5.

KUVVET VE ENERJİ YAKLAŞIMLARI

5.1. GİRİŞ

Metallerin plastik biçimlendirme işlemlerinin karakteristiği oldukça karmaşıktır. Bu yüzden malzeme akışı ile ilgili kesin bir sonuç elde etmek oldukça güçtür. Bunu başarmanın yolu; farzedilen gerilme ve genleme alanlarının tüm deformasyon hacminde geçerli olmasıdır. Herhangi bir metal biçimlendirme (Örneğin kapalı kalıpla dövme) işleminde elde edilmesi istenen ürün veya yarı ürünün şekillendirilmesi, hammadde malzemesi, işlem sıcaklığı, ve sürtünme durumu gibi pekçok parametreden etkilenir. Öte yandan böyle bir proseste, şekillendirmenin gerçekleştirilmesi için gerekli kuvvet ve enerji miktarının bilinmesi kullanılacak dövme makinesinin kapasitesinin belirlenmesi ile kalıp ve iş parçası malzemesinin seçilmesi açısından önemlidir. Ancak günümüzde dahi kuvvet ve malzeme akışı problemleri, matematiksel güçlükler nedeniyle tam manasıyla ^{örneğin} çözülememiştir. Bununla beraber geçmişten günümüze birçok araştırmacı konu ile uğraşmış ve çeşitli yaklaşımlar öne sürmüştür. Bu yaklaşımlar, gerçek prosese göre nispeten kaba ya da hassas sonuçlar vermektedir. Bazen gerçeğe en yakın sonuç için uzun bir zaman ve iyi derecede bilgi gerektiğinden, işin durumuna göre daha az yaklaşık sonuç veren analiz de tercih edilebilir.

Ülkemizde yakın zamana kadar kullanılan yöntem, aynı malzemeden benzer şekle sahip daha önce dövülmüş parçaların veri olarak kullanılması idi. Kapalı kalıpla ilgili olarak Akata et al(1994) şu ampirik bağıntıyı vermektedir:

$$F = \sigma_a A C \quad (5.1)$$

A: Dövme işleminde çapağı da içeren alan

C: Dövülen parçanın şekil karmaşıklığına bağlı bir katsayı

Bunlara ek olarak günümüzde metal biçimlendirme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan analitik ve nümerik metotlar şunlardır: Dilim Yöntemi, Kayma Çizgileri Yöntemi, Sonlu Farklar Yöntemi, Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Sınır Analizleri Yöntemi.

Dilim yönteminde üniform malzeme deformasyonu göz önüne alınmaktadır. Deforme olduğu farzedilen düz ve sonsuz incelikteki, malzeme akış yönüne dik duran bir dilimde radyal yöndeki kuvvet dengesi yazılır ve elde edilen diferansiyel denklemin integrasyonu ile sonuca ulaşılır. Yöntem basit şekilli parçalarda gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Genel olarak bakıldığında ise doğruluk derecesi yüksek olmamakla beraber sonuca hızlı ulaşmak için tercih edilir.

Kayma çizgileri metodu metal biçimlendirme proseslerinde gerilme ve genleme dağılımı vermekle beraber yöntem yalnızca düzlem genleme problemlerinin çözümüne uygundur. Bu yöntemde plastik akış, kayma çizgileri olarak adlandırılan çizgilerle ifade edilen düzlemler boyunca gerçekleşen kayma deformasyonları ile tanımlanır (Çan, Y., 1998).

Sonlu farklar yöntemi nümerik bir metot olup genellikle sıcaklık dağılımının hesaplanmasında kullanılır.

Sonlu elemanlar yöntemi de nümerik bir çözüm yöntemidir ve günümüz mühendislik uygulamalarında giderek artan bir oranda kullanılmaktadır. Bunun başlıca sebebi Dilim Yöntemi ve Kayma Çizgileri Yöntemi gibi belirli ve sınırlı problemler yerine pek çok karmaşık problemi çözebilmesidir. Nümerik metotlar ve bilgisayar sistemlerindeki gelişmeler, analiz sonuçlarının daha doğru çıkmasını sağlamaktadır. Genlemeler çok küçük artışlarla hesaplandığı için gerilme ve genleme dağılımı da

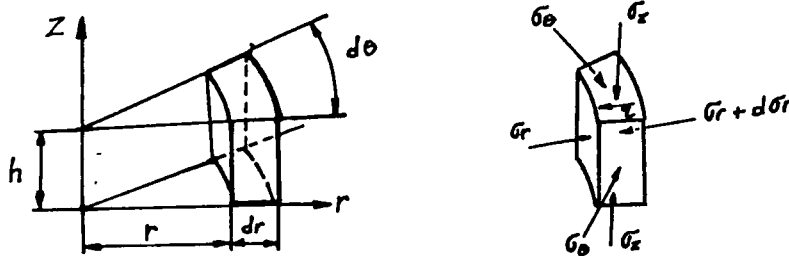
oldukça doğrudur. Yöntemin tek dezavantajı işlemlerin bilgisayarda bile genellikle oldukça uzun sürmesi ve konuda kesinlikle uzman olunması gereğidir (Chitkara, R. N., 1996).

Sınır analiz yöntemi toplam enerji ve yük ihtiyacının hesabında kullanılan analitik bir metottur. Yöntem alt sınır ve üst sınır olmak üzere iki kategoride ele alınabilir. Alt sınır yöntemi plastik deformasyon için gerekli enerjiye eşit veya daha az sonuçlar verir. Yöntemin temeli, statik genleme alanı kabulüne dayanır. Üst sınır teoremi (UB) ise temel olarak kinematik hız alanı kabulüne dayanır ve plastik deformasyon için gerekli enerjiye eşit veya bundan daha büyük değerler verir. Yöntem ile ilgili geniş bilgi bu bölüm içinde verilecektir.

Deneysel çalışma parçası ile ilgili kuvvet hesaplamalarında üç farklı kuvvet analiz yönteminin kullanılarak hesaplama yapılması ve bunların ölçülen sonuçlarla karşılaştırılarak gerçeğe en yakın sonuç veren analizin belirlenmesi yolu izlenecektir. Bu sebeple bu üç yöntemin de açıklanması yerinde olacaktır.

5.2. SERBEST YIĞMA İŞLEMİNDE KUVVET HESAPLANMASI (SY)

Eksenel simetriye sahip bir parçanın kalıpta yığılabilmesi için gerekli kuvvet Şekil 5.1.'de gösterilen bir hacim elemanı yardımıyla bulunabilir.



Şekil 5.1. Yığıma İşleminde Bir Hacim Elemanındaki Gerilme Hali

Şekil 5.1.'e göre radyal yönde kuvvet dengesi aşağıdaki şekilde yazılabilir (Aydoğdu, M., 1997):

$$\sigma_r h r d\theta - (\sigma_r + d\sigma_r) h (r + dr) d\theta + 2\sigma_\theta h dr \sin\left(\frac{d\theta}{2}\right) - 2\tau r d\theta dr = 0 \quad (5.2)$$

$\sin(d\theta/2) \approx (d\theta/2)$ yazılırsa (5.2) eşitliği aşağıdaki hale dönüşür:

$$\sigma_r h dr + d\sigma_r r h - \sigma_\theta h dr + 2\tau r dr = 0 \quad (5.3)$$

$\sigma_\theta = \sigma_r$ olduğu kabulü ve ikinci derece diferansiyel terimlerin ihmal edilmesiyle (5.4) denklemi elde edilir

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2\tau}{h} = 0 \quad (5.4)$$

(5.4) denkleminde $\tau = \mu\sigma_z$ yazılarak,

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2\mu\sigma_z}{h} = 0 \quad (5.5)$$

elde edilir. Tresca akma kriteri kullanılarak $\sigma_r - \sigma_z = \sigma_f$ olduğundan,

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2\mu\sigma_r}{h} = \frac{2\mu\sigma_f}{h} \quad (5.6)$$

denklemi elde edilir. Bu diferansiyel denklemin çözümünden aşağıdaki ifade bulunur:

$$\sigma_r = e^{\left(-\frac{2\mu}{h}\right)} \left[\sigma_f e^{\left(\frac{2\mu}{h}\right)} + C \right] \quad (5.7)$$

(5.7) denkleminde $r=d/2$ iken $\sigma_r = 0$ sınır şartı yerine yazılırsa,

$$C = -\sigma_f e^{\left(\frac{\mu d}{h}\right)} \quad (5.8)$$

olarak elde edilir. Böylece radyal gerilme

$$\sigma_r = -\sigma_f \left\{ e^{\left[\frac{2\mu}{h} \left(\frac{d}{2} - r \right) \right]} - 1 \right\} \quad (5.9)$$

olur. Buradan yine Tresca kriteri yardımıyla,

$$\sigma_z = -\sigma_f e^{\left[\frac{2\mu}{h} \left(\frac{d}{2} - r \right) \right]} \quad (5.10)$$

bulunur. Seri açılımı yapılarak aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\sigma_z = -\sigma_f \left[1 + \frac{2\mu}{h} \left(\frac{d}{2} - r \right) \right] \quad (5.11)$$

Buradan şekillendirme kuvveti aşağıdaki gibi yazılır:

$$F_z = \int_A \sigma_z dA \quad (5.12)$$

Eksenel simetrik durumda ise

$$F_z = -A \sigma_f \left(1 + \frac{\mu d}{3h} \right) \quad (5.13)$$

şeklinde yığma kuvveti elde edilir. Bu yöntemle kalıpla serbest yığma işlemi için gerekli kuvvet güzel bir yaklaşıklıkla elde edilebiliyorsa da, kalıbın yan yüzeylerine malzeme temasının olacağı andan itibaren bu kuvvet yaklaşımının sonuçlarının deneysel yolla elde edilen sonuçlarla uyuşmaması beklenmektedir.

5.3. ÜST SINIR ANALİZİ (ÜSA)

Metal şekillendirme proseslerinde şekillendirme kuvvetlerinin belirlenmesi amacıyla günümüzde en çok üzerinde durulan hesap yöntemi Üst Sınır (Upper Bound) analizidir. İlk olarak Prager ve Hodge (1951) tarafından ele alınan yöntem basitçe iç enerji dağılımı ile dış iş miktarının denklemlerinin çözülmesiyle hesaplanır. Tam çözüm için gerilme dengelerinin ve öngörülecek akışın parçanın her yerinde tatminkar şekilde doğru olması gerekir. Enerji tüketim miktarı E ; farz edilen hız alanındaki plastik deformasyon için gerekli olan E_D , sınırlardaki hız süreksizliğinden gelen enerji tüketimi E_{vd} ve kalıplarla iş parçası arasındaki sürtünme için verilmesi gereken enerji E_f 'nin toplamıdır. Bazı durumlarda malzemeyi çekmek için bir kuvvet harcanıyorsa (örneğin tel çekme prosesleri) bu kuvvetin toplam kuvvetten çıkarılması gerekir (Avitzur, B., 1983).

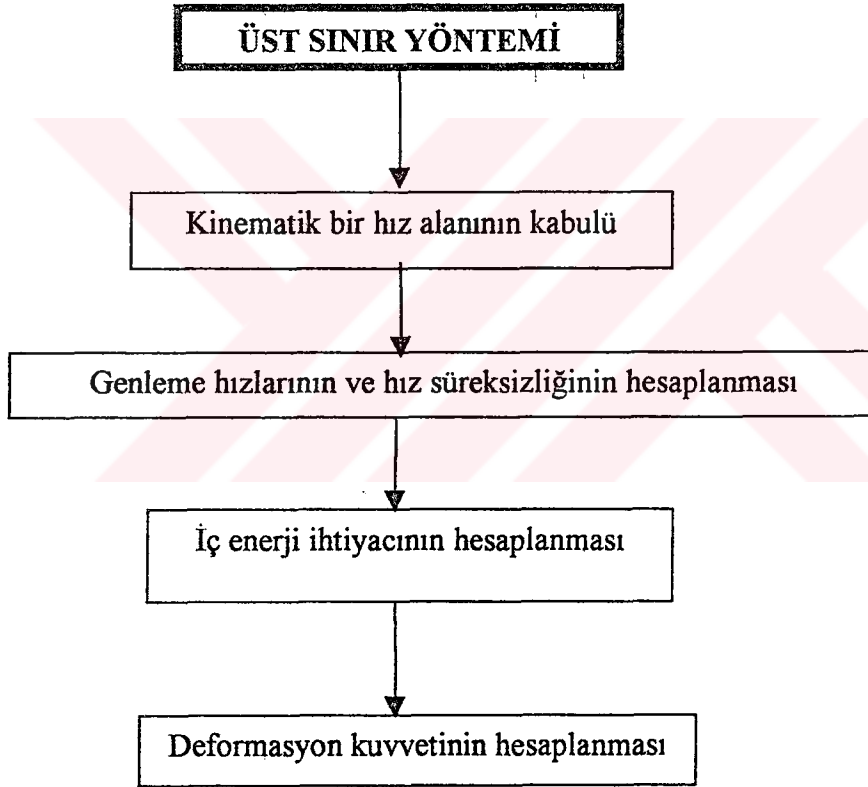
$$E = E_D + E_{vd} + E_f - E_t$$

$$E_T = \int_V \sigma \cdot \dot{\epsilon} \cdot dV + \int_s \tau \cdot v^* \cdot ds + \int_s \tau \cdot \Delta v \cdot ds - \int_{Si} T_i \cdot V_i \cdot ds \quad (5.14)$$

v^* ve Δv sırasıyla hız süreksizliği ve kalıp ile malzeme arasındaki relatif hızdır.

Üst Sınır Analizinin formüle edilmiş hali yukarıdaki gibi olmakla beraber yüzeyler ve hız denklemleri nispeten görecelidir. Aynı parça için farklı araştırmacılar yöntemin mantığına sadık kalmakla beraber farklı denklemler ve farklı sonuçlar

bulabilmektedir. Ancak doğaldır ki gerçeğe en yakın sonuç, gerçeğe yakın bir yüzey seçimi ve hız denklemleri ile bulunabilir. Gerçekleşen kuvvet miktarları ise üst sınır yöntemi ile hesaplanandan daha küçük veya eşittir. Üst sınır yöntemi pek çok metal biçimlendirme prosesinde çabuk ve gerçeğe yakın sonuç verdiği için tercih edilmektedir. Ayrıca Sonlu Elemanlar Yöntemi ile kıyaslandığında, oldukça kısa bilgisayar zamanı alması ve plastisite ile ilgili çok kapsamlı teorik bilgi gerektirmemesi, araştırmacı ve mühendisler tarafından tercih edilmesinin başlıca sebebidir. Bu yöntemin uygulanışını Şekil 5.2.'deki gibi sunmak mümkündür (Çan, Y., 1998):



Şekil 5.2. Üst Sınır Analizinin Genel Şeması

5.3.1. Üst Sınır Yönteminin Formülasyonu

Bu yöntemin formülasyonu için öncelikle aşağıdaki kabullerin yapılması gerekmektedir :

- Malzeme izotropik ve sıkıştırılamazdır.
- Elastik deformasyon ve atalet kuvvetleri yoktur.
- Malzeme Levy-Mises ve von Mises kriterlerini sağlamaktadır.
- Malzeme pekleşmeyen, rijit plastiktir.
- Malzemenin akma sınırı sabittir.

5.3.1.1. Deformasyon Enerjisi

Von Mises kriterini sağlayan malzemeler için aşağıdaki iş hızı eşitliği yazılabilir (Çan, Y., 1998):

$$\dot{\omega} = \sigma_{11} \dot{\epsilon}_{11} + \sigma_{22} \dot{\epsilon}_{22} + \sigma_{33} \dot{\epsilon}_{33} + 2(\sigma_{12} \dot{\epsilon}_{12} + \sigma_{23} \dot{\epsilon}_{23} + \sigma_{31} \dot{\epsilon}_{31}) \quad (5.15)$$

Bu eşitlik tansör notasyonuna göre aşağıdaki biçimde yazılabilir;

$$\dot{\omega} = \sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} \quad (5.16)$$

Eşitlikteki gerilme tansörü, gerilme deviatörü ve hidrostatik gerilme olmak üzere ikiye bölünebilir :

$$\dot{\omega} = (S_{ij} + S\delta_{ij}) \dot{\epsilon}_{ij} \quad (5.17)$$

Burada,

S_{ij} = Gerilme deviatör tansörü

ε_{ij} = Genleme hızı deviatör tansörü

δ_{ij} = Birim tansördür. Böylece (5.17) denklemi aşağıdaki şekilde genişletilebilir:

$$\dot{\omega} = (S_{11} + S) \dot{\varepsilon}_{11} + (S_{22} + S) \dot{\varepsilon}_{22} + (S_{33} + S) \dot{\varepsilon}_{33} + 2(S_{12} \dot{\varepsilon}_{12} + S_{23} \dot{\varepsilon}_{23} + S_{31} \dot{\varepsilon}_{31}) \quad (5.18)$$

$$\dot{\omega} = S_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij} + S \dot{\varepsilon}_{ii} \quad (5.19)$$

Plastik deformasyon sırasındaki hacim sabitliği ise şu şekilde tanımlanır:

$$\dot{\varepsilon}_{ii} = \dot{\varepsilon}_{11} + \dot{\varepsilon}_{22} + \dot{\varepsilon}_{33} = 0 \quad (5.20)$$

Böylece (5.18) eşitliği aşağıdaki hali alır:

$$\dot{\omega} = (S_{11}) \dot{\varepsilon}_{11} + (S_{22}) \dot{\varepsilon}_{22} + (S_{33}) \dot{\varepsilon}_{33} + 2(S_{12} \dot{\varepsilon}_{12} + S_{23} \dot{\varepsilon}_{23} + S_{31} \dot{\varepsilon}_{31}) \quad (5.21)$$

Son eşitlik tansör notasyonuna göre,

$$\dot{\omega} = S_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij} \quad (5.22)$$

halini alır. Genleme hızı bileşenleri yerine konarak, gerilme deviatör tansörünün ikinci bileşeni kritik bir değere ulaştığında plastik şekil değişimi başlar

$$J_2 = \frac{1}{2} S_{ij} S_{ij} = k^2 \quad (5.23)$$

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} \dot{\varepsilon}_{kl} \dot{\varepsilon}_{kl}}}{k} S_{ij} \quad (5.24)$$

burada k basit kaymadaki akma sınırırır.

$$\dot{\omega} = \frac{1}{k} S_{ij} S_{ij} \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\varepsilon}_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}} \quad (5.25)$$

Von-Mises akma şartlarını (5.23) denkleminde yerine koyduğumuzda,

$$\dot{\omega} = 2k \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\varepsilon}_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}} \quad (5.26)$$

$$k = \frac{\sigma_o}{\sqrt{3}} \quad (5.27)$$

$$\dot{\omega} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_o \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\varepsilon}_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}} \quad (5.28)$$

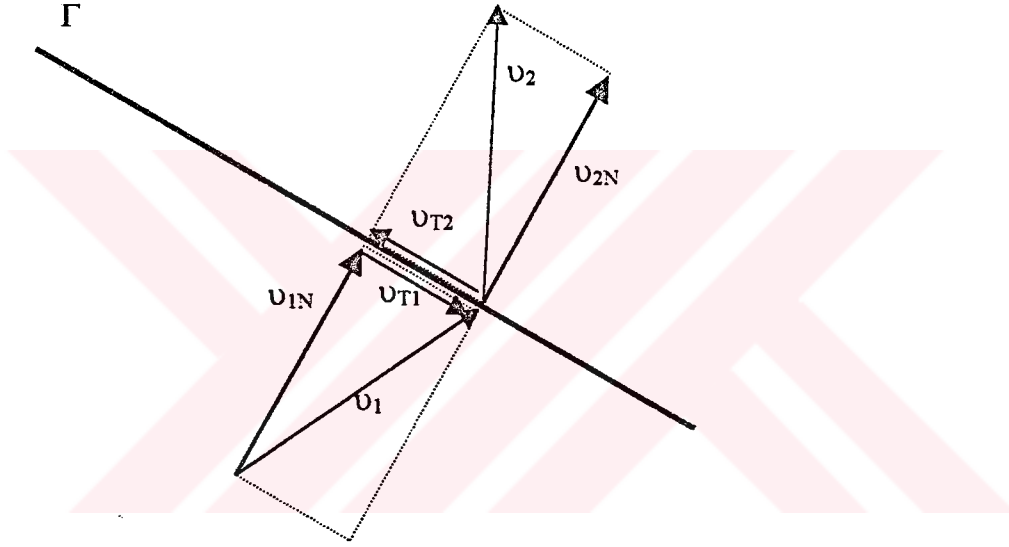
elde edilir. Burada σ_o malzemenin akma sınırırırır. Deformasyon işi için (5.28) deklemini deformasyon bölgesi hacmi üzerinden integre etmek gerekir.

$$\dot{W}_D = \int_V \dot{\omega} dV \quad (5.29)$$

$$\dot{W}_D = E_D = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_o \int_V \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\varepsilon}_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}} dV \quad (5.30)$$

5.3.1.2. Hız Süreksizliği Enerjisi

Pek çok durumda numuneye ait tüm deformasyon bölgesinin hız alanının yazılarak matematiksel ifadesinin çıkarılması oldukça güçtür. Böyle durumlarda deformasyon bölgesini çeşitli bölgelere bölmek avantaj sağlamaktadır. Her ayrı bölgede hız alanı süreklidir. Şekil 5.3.'te gösterilen iki komşu bölgede hızın normal bileşeni, sınırı değişmeden geçer. v_{T1} ve v_{T2} ise sınırdaki radyal hız bileşenleridir.



Şekil 5.3. Hızların Bölge Değiştirmesi

Hız süreksizliği olarak adlandırılan radyal hız bileşenleri arasındaki fark;

$$v^* = \Delta v = v_{T1} - v_{T2} \quad (5.31)$$

olarak verilir. Sınırlardaki bu hız süreksizliği deforme edilen parçada kaymayı yükseltir. Maksimum kayma;

$$\tau = \sigma_0/\sqrt{3} \quad (5.32)$$

Böylece Γ sınırındaki enerji miktarı şu şekilde yazılır:

$$E_{vd} = \int_s \tau \cdot v^* \cdot ds \quad (5.33)$$

5.3.1.3. Sürtünme Enerjisi

Şekillendirme prosesi boyunca kalıp ile iş parçası arasındaki temas ve relatif hareketten dolayı sürtünme adı verilen ve hareketi engelleyici bir kuvvetin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Sürtünmenin mekanizması karmaşıktır. Sürtünme gerilmesi τ notasyonu ile gösterilir. Sürtünmenin pek çok matematiksel tanımı olmakla beraber, plastisitede Coulomb sürtünme katsayısı ve ara yüzey kayma faktörü genelde tercih edilmektedir.

Sürtünmenin tamamen Coulomb yasasına uyduğu farzedilirse,

$$\tau = \mu p \quad (5.34)$$

olarak yazılabilir. Burada,

τ = Radyal gerilme

p = Yüzeyler arası basınç

μ = Sürtünme katsayısı

Ancak araştırmacılar tarafından aşağıdaki eşitlik te kullanılmaktadır:

$$\tau = m k \quad (5.35)$$

$$k = \sigma_0 / \sqrt{3} \quad (5.36)$$

m, kalıp ile metal arasındaki ara yüzey kayma faktörü olup hızdan bağımsızdır. m değeri 0-1 arasında değişmekte olup hız süreksizliği için 1'e eşittir.

Böylece kalıp ile iş parçası arasındaki sürtünme enerjisi şöyle verilir:

$$E_f = \int_s \tau \cdot \Delta v \cdot ds \quad (5.37)$$

5.4. İNCE KESİTLERİN YIĞILMASI (İKY)

Deney parçasının dövülmesi ile ilgili olarak yapılacak kuvvet tahmini hesaplarında daha önce de söylendiği gibi, serbest yığma, numune kalıp cidarlarına değene kadar nispeten iyi sonuçlar vermekte ancak, parça kalıp yanlarına değmeye başladığı andan itibaren ölçülen kuvvetler gözle görünür biçimde artmaktadır. Alternatif hesaplama yöntemi ÜSA ise deney parçasını dövme kuvveti ve gerekli pres kapasitesini vermekle beraber, parçanın kalıp yan yüzeyleri ile temasa başladığı andan itibaren kalıp kenarına henüz temas etmeyen ve yana doğru yığılmakta olan ince kesitlerle (parçanın kenar radyüsü) fazla ilgilenmemektedir. Ayrıca pek çok dövme prosesi sırasında kalıp basma yüzeylerinde işlemin hemen başlarında yapışma sürtünmesi meydana gelmekte ve bu da malzeme akış hızını azaltarak dövme kuvvetini arttırmaktadır (Schey, J. A., 1970). Bu bilgiden yola çıkarak dövme kuvvetinin, ince kesitlerin yığılması sırasında kuvvet hesaplama yöntemi kullanılarak ta bulunmasına ve sonuçların hem deney sırasında kaydedilen kuvvetlerle ve hem de diğer yöntemlerle hesaplanan kuvvetlerle karşılaştırılmasına karar verilmiştir.

5.4.1. İnce Kesitlerin Yığılmasında Kalınlığın Kuvvet İhtiyacı Üzerine Etkisi

İnce kesitlerin yığılmasında (dövülmesinde) gerekli kuvvetin sürtünme ve kalınlıkla ilgili olduğu tezinden yola çıkılarak bazı çalışmalar yapılmıştır (Schroeder et al., 1949). Düzlemsel ıstampalar vasıtasıyla preslenen bir plakanın çapı büyürken kalınlığı azalır. Bu şartlar altında genlemeler sadece bir doğrultuda basma ve zıt iki doğrultuda eşit genişlemenin olduğu basit basmadakine benzerdir. Plakanın geometri merkezi hariç bütün noktalarda kalıp yüzeyi ile plaka arasında izafi bir kayma hareketi oluşur. Malzemenin sıkıştırılmaz, homojen ve izotropik olduğu kabul edilerek gerçek genlemeler;

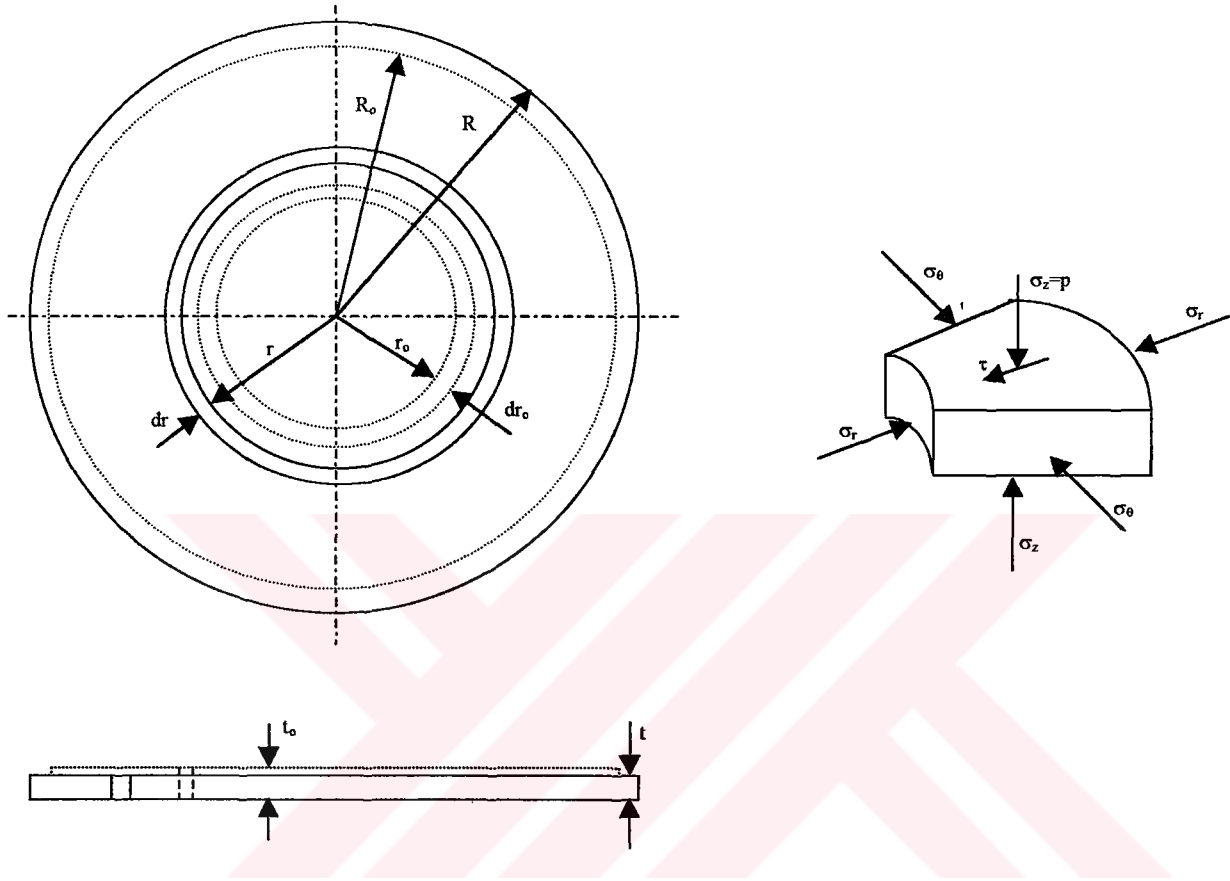
$$\epsilon_r + \epsilon_\theta + \epsilon_z = 0 \quad \text{ve} \quad \epsilon_r = \epsilon_\theta = -0.5 \epsilon_z \quad (5.38)$$

yazılabilir. Gerçek şartlar ise birim sürtünme kuvveti büyüdükçe bu şartlardan sapma gösterecektir. Şekil 5.4.'teki gerilme dağılımının diferansiyel denklemi şöyle ifade edilebilir

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = \frac{2\tau}{t} \quad (5.39)$$

Burada τ iki yüzeyin her birindeki kaymadaki sürtünme gerilmesidir ve basma gerilmeleri pozitif işaretlerle gösterilmiştir. Kayma-genleme kriteri akma kriteri olarak ele alınmıştır ve şöyle verilebilir (Schroeder, 1949):

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2} \quad (5.40)$$



Şekil 5.4. Plaka Geometrisi ve Birim Elemandaki Gerilme Dağılımı

σ_0 , tek eksenli yüklemede (basit basma) akma gerilmesidir. Bu şartlar altında genel gerilme durumu, basma doğrultusuna karşılık gelen z doğrultusundaki hidrostatik basınçla birlikte olan tek eksenli basmadakine benzerdir. Böylece,

$$\sigma_z = \sigma_\theta + \sigma_h \quad \text{ve} \quad \sigma_r = \sigma_\theta = \sigma_h \quad (5.41)$$

yazılabilir. Burada σ_h hidrostatik basınç bileşenidir. Bu şartlar (5.40) denklemini sağlar.

$|\sigma_z| = p$ yazılarak yüzeydeki kayma gerilmesi $\tau = \mu p$ olarak ifade edilir. Böylece,

$$\frac{dp}{p} = -\frac{2\mu}{t} dr \quad (5.42)$$

bulunur. Bu denklemi $r = r$ iken $p=p$ ve $r = R$ iken $p=\sigma_0$ sınırları arasında integre edersek;

$$\int_p^{\sigma_0} \frac{dp}{p} = -\frac{2\mu}{t} \int_r^R dr \quad (5.43)$$

elde edilir. Bu, tekrar düzenlenerek,

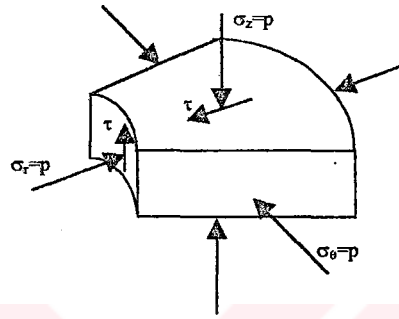
$$\frac{p}{\sigma_0} = e^{2\mu \left(\frac{R}{t} - \frac{r}{t} \right)} \quad (5.44)$$

halini alır. Bu denklemde maksimum basınç P_m , $r=0$ 'da oluşur ve $\frac{P_m}{\sigma_0} = e^{\frac{2\mu R}{t}}$ yazılır.

Denklem incelendiğinde $\mu R / t$ değerine bağlı olarak p ve $\tau=\mu p$ olduğundan τ büyük değerler alacaktır. Ancak pratik olaylardan açıktır ki τ yüzeyde bir kayma gerilmesidir ve değeri akma gerilmesinden veya plastik şekil değişimini oluşturmak için gerekli gerilme değerinden daha büyük olamaz. Bu durumda gerilme hali daha önce kabul edilenden farklı olacaktır. τ 'nın yüksek değerleri için kalıp yüzeyi, yakınındaki metalin serbestçe açılmasına sınırlama getirecek ve Şekil 5.5.'te gösterildiği üzere τ kayma gerilmesinin üzerine süperpoze edilen ve p 'ye eşit bir hidrostatik basınç hali meydana gelecektir. Bu hal için akma kriteri şu şekilde tekrar yazılabilir:

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(2\tau_0)^2 + \tau_0^2 + \tau_0^2} \quad (5.45)$$

Böylece $\tau_0=0.577\sigma_0$ veya $\tau=k\sigma_0$ yazılabilir. Hidrostatik basınç akma gerilmesini etkilememektedir. Denklemdeki τ_0 , τ 'nin maksimum değerini gösterir. $\tau=k\sigma_0$ yazılarak temel diferansiyel denklem $dp=-(2k\sigma_0/t)dr$ halini alır.



Şekil 5.5. Büyük Sürtünme Katsayıları Halinde Plakanın Yüzey Tabakasındaki Gerilme Hali

Eğer $\mu \geq k$ kabul edilirse plakanın her yerinde $\tau=\tau_0$ olur. $r=r'$ 'de $p=p$ ve $r=R$ 'de $p=\sigma_0$ sınır şartları için integrasyon ve gerekli düzeltmelerden sonra,

$$\frac{p}{\sigma_0} = 1 + 2k \left(\frac{R}{t} - \frac{r}{t} \right) \quad (5.46)$$

bulunur. $\tau=\tau_0$ şartının plakanın bir kısmında var olduğu zamanki bir diğer durum $\tau=\mu p$ denkleminde $\tau=\tau_0$ için $p=p_{kr}$ yazmaktır. Böylece,

$$k\sigma_0 = \mu p_{kr} \text{ ve } \frac{p_{kr}}{\sigma_0} = \frac{k}{\mu} \quad (5.47)$$

olur. $\tau=\tau_0=k\sigma_0$ eşitliği $\frac{p}{\sigma_0} \geq \frac{k}{\mu}$ olan bütün noktalarda sağlanır. Böylece $\mu < k$ olsa bile $p > p_{kr}$ olduğunda kayma yerine yapışma meydana gelir. (5.47) denklemini (5.44)'te yerine koyarak $p=p_{kr}$ için $r=r_{kr}$ ise

$$\frac{r_{kr}}{t} = \frac{R}{t} - \frac{1}{2\mu} \ln \frac{k}{\mu} \quad (5.48)$$

olur. Buraya kadar olanları özetleyecek olursak,

1) $\frac{p}{\sigma_0} < \frac{k}{\mu}$ veya $\frac{R}{t} < \frac{1}{2\mu} \ln \frac{k}{\mu}$ olduğunda yüzeyler arasında sadece kayma meydana gelir.

2) $\mu \geq k=0.577$ olduğunda plaka yüzeyleri kalıp yüzeylerine yapışır ve plakanın şekil değişimi plaka dahilinde kesme deformasyonları halinde oluşacaktır.

3) $\mu < k$ ancak $\frac{p}{\sigma_0} > \frac{k}{\mu}$ veya $\frac{R}{t} > \frac{1}{2\mu} \ln \frac{k}{\mu}$ olduğunda plakanın dış tarafına yakın kenarları arasındaki yüzeylerde kayma, daha iç bölgelerde ise yapışma meydana gelir. Parça geometrisi ve sürtünme şartlarına göre sunulan çalışmanın şartları 3. hale uymaktadır.

$r=a$ ve $r=b$ arasındaki herhangi bir bölgede ortalama kalıp basıncı p_a , göz önüne alınan herhangi bir şart için ortalama p basınç etkisini de göz önüne alarak aşağıdaki denklem sayesinde bulunabilir (Schroeder et al,1949):

$$p_a \int_a^b 2\pi r dr = \int_a^b 2\pi r p dr \quad (5.49)$$

Yukarıda bahsedilen 3. hal için yani $\mu < k$ ve $\frac{R}{t} > \frac{1}{2\mu} \ln \frac{k}{\mu}$ için (5.49) denklemi,

$$p_a \int_{r_{kr}}^R r dr = \sigma_0 \int_{r_{kr}}^R e^{2\mu \frac{2\mu(R-r)}{t}} r dr + \sigma_0 \int_0^{r_{kr}} \left[\frac{k}{\mu} + \frac{2k}{t} (r_{kr} - r) \right] r dr \quad (5.50)$$

olarak yazılır. İntegrasyon yapıp basitleştirildiğinde,

$$\frac{p_a}{\sigma_0} = \frac{2}{C^2} \left[(D+1)e^{C-D} - (C+1) \right] + \frac{D^2}{C^2} \left(\frac{k}{\mu} + \frac{2k}{3} \frac{r_{kr}}{t} \right) \quad (5.51)$$

elde edilir. Burada

$$C = \frac{2\mu R}{t} \text{ ve } D = \frac{2\mu r_{kr}}{t} \text{ dir.}$$

(5.51) denklemi kullanılarak hesaplanan basınç oranları ve bunlara dayanarak bulunan kuvvet değerleri grafik halinde Bölüm 6'da sunulacak ve irdelenecektir.

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

6.1. DIŞLI TASLAK DÖVME SONUÇLARI

6.1.1. Seri Üretim Taslak Dövme Boyut Ölçüm Sonuçları

Kranklı mekanik presle gerçekleştirilen dişli taslaklarının 1. ve 2. kademeye dövülmesinin ardından boyutlarının ölçülmesine geçilmiştir. Toplam olarak 6 tip deney grubuna ait taslaklarda dövme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda numunelerin ölçüleri birbirlerine çok yakın olduğundan Tablo 6.1.'de birbirlerinden az da olsa farklı olan ölçülere yer verilmiştir. Tabloda belirtilen büyüklüklerin deney parçasındaki karşılıkları ile parça örnekleri Şekil 6.1.'de gösterilmektedir. Ölçüm sonuçlarına göre, Bölüm 4, Tablo 4.1.'de verilen taslak büyüklüklerine sadık kalınarak imal edilen kalıplarla gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen parçaların boyutlarının, istenen sınırlar dahilinde olduğu ve son boylarına tek bir talaş kaldırma operasyonu ile getirilebileceği görülebilir.

6.1.2. Kuvvet Ölçüm Sonuçları

6.1.2.1. Yığılmış Dişli Taslaklarının Üst Sınır Analizi

Numunelerin kuvvet tahmini için teorik analizlerini yapmak üzere silindirik koordinat sistemi (r, θ, z) seçilmiş ve şu kabuller yapılmıştır:

- 1) Malzemenin serbest akış yüzeyinin şekli dairesel ve merkezi de parçanın merkezidir.
- 2) Kalıp-iş parçası ara yüzeyinde sabit sürtünme katsayısı göz önüne alınmıştır.
- 3) Malzeme rijit ve homojendir.

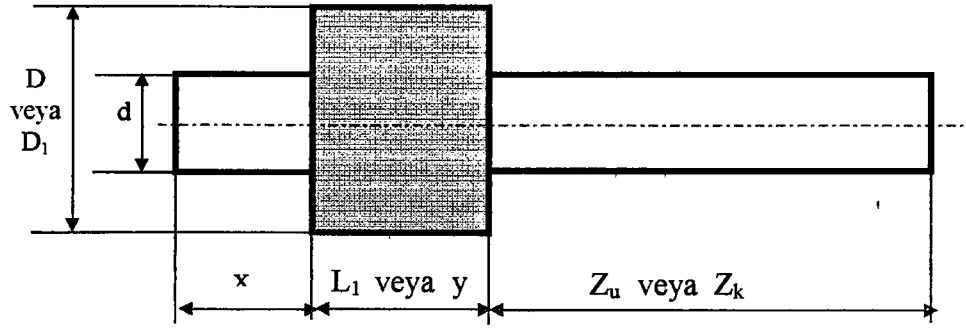
Tablo 6.1. Seri Üretim Dövme Dişli Taslak Boyut Ölçüm Sonuçları

Pompa Tipi	Dişli Taslak Parçaların Dövme Sonrası Boyutları													
	1. Kademe Sonrası							2. Kademe Sonrası						
	x	L ₁	Z ₀	Z _k	d	D ₁		x	y	Z _u	Z _k	d	D	
1.Tip Döndüren								17.9	7.1	72.1	-	20.2	41.7	
								18.0	7.4	72.2	-	20.2	41.7	
								18.0	7.2	72.1	-	20.1	41.7	
1.Tip Döndürülen								17.8	7.3	-	17.9	20.2	41.7	
								17.9	7.2	-	17.7	20.3	41.7	
								17.8	7.5	-	17.7	20.2	41.7	
2.Tip Döndüren								17.9	10.3	81.3	-	20.2	41.8	
								17.9	10.4	81.2	-	20.3	41.7	
								17.8	10.4	81.1	-	20.2	41.7	
2.Tip Döndürülen								17.8	10.4	-	17.6	20.2	41.9	
								18.0	10.2	-	17.9	20.2	41.7	
								17.9	10.3	-	17.9	20.2	41.7	
3.Tip Döndüren								18.1	11.2	77.4	-	20.2	41.9	
								18.1	10.8	77.3	-	20.2	41.8	
								18.0	11.0	77.3	-	20.3	41.9	
3.Tip Döndürülen								18.1	11.3	-	18.0	20.4	41.8	
								18.3	11.2	-	18.0	20.3	41.9	
								17.9	11.4	-	18.0	20.2	41.8	
4.Tip Döndüren	17.8	28.1	77.7	-	20.2	29.8		17.8	14.2	77.2	-	20.2	41.8	
	17.8	27.9	77.7	-	20.1	29.8		18.0	14.2	77.2	-	20.2	41.8	
	18.0	27.7	77.8	-	20.2	29.8		18.0	14.1	77.2	-	20.3	41.9	
4.Tip Döndürülen	18.0	28.0	-	18.2	20.3	29.8		17.9	14.3	-	17.9	20.3	41.8	
	17.9	27.7	-	18.5	20.1	29.8		18.0	14.7	-	17.9	20.1	41.8	
	18.0	28.0	-	18.4	20.2	29.8		18.0	14.8	-	18.0	20.2	41.8	

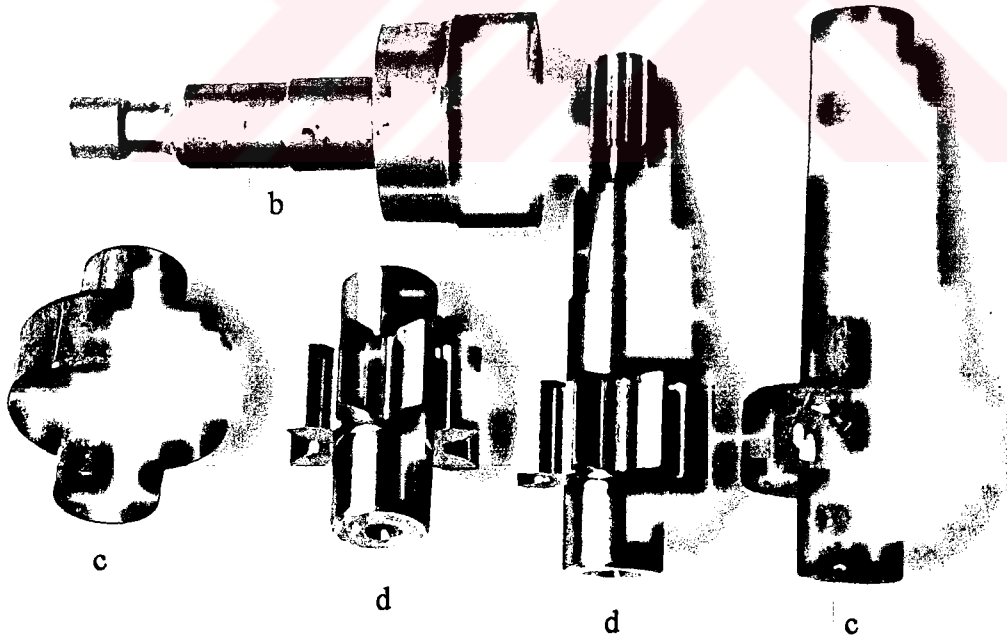
Tablo 6.1. Seri Üretim Dövme Dişli Taslak Boyut Ölçüm Sonuçları(Devam)

Pompa Tipi	Dişli Taslak Parçaların Dövme Sonrası Boyutları											
	1. Kademe Sonrası						2. Kademe Sonrası					
	x	L ₁	Z _a	Z _k	d	D ₁	x	y	Z _a	Z _k	d	D
5. Tip Döndüren	17.6	33.5	77.8	-	20.1	29.8	17.8	17.1	77.3	-	20.1	41.8
	18.0	33.5	77.5	-	20.3	29.8	18.0	17.0	77.3	-	20.3	41.9
	18.0	33.5	77.7	-	20.2	29.8	18.0	17.3	77.3	-	20.2	41.8
5. Tip Döndürülen	17.7	33.8	-	18.6	20.4	29.8	17.9	17.4	-	18.0	20.4	41.8
	18.0	33.8	-	18.5	20.2	29.8	18.0	17.3	-	17.9	20.2	41.9
	17.7	33.9	-	18.3	20.2	29.8	18.0	17.5	-	17.8	20.2	41.8
6. Tip Döndüren	18.0	61.8	85.0	-	20.0	29.8	18.1	31.1	84.5	-	20.3	42.0
	18.0	62.0	84.5	-	20.3	29.8	18.0	31.0	84.2	-	20.2	41.9
	17.8	61.9	84.5	-	20.2	29.8	18.0	31.1	84.4	-	20.3	41.9
6. Tip Döndürülen	18.0	62.0	84.5	-	20.2	29.8	17.9	31.2	84.4	-	20.3	41.8
	18.0	61.8	-	26.0	20.1	29.8	18.0		-	26.2	20.2	41.9
	17.9	61.7	-	25.8	20.2	29.8	18.1		-	25.8	20.2	42.0
	17.8	62.0	-	25.8	20.2	29.8	17.9		-	25.9	20.1	42.0
	17.8	62.0	-	25.9	20.2	29.8	17.9		-	26.0	20.2	41.8

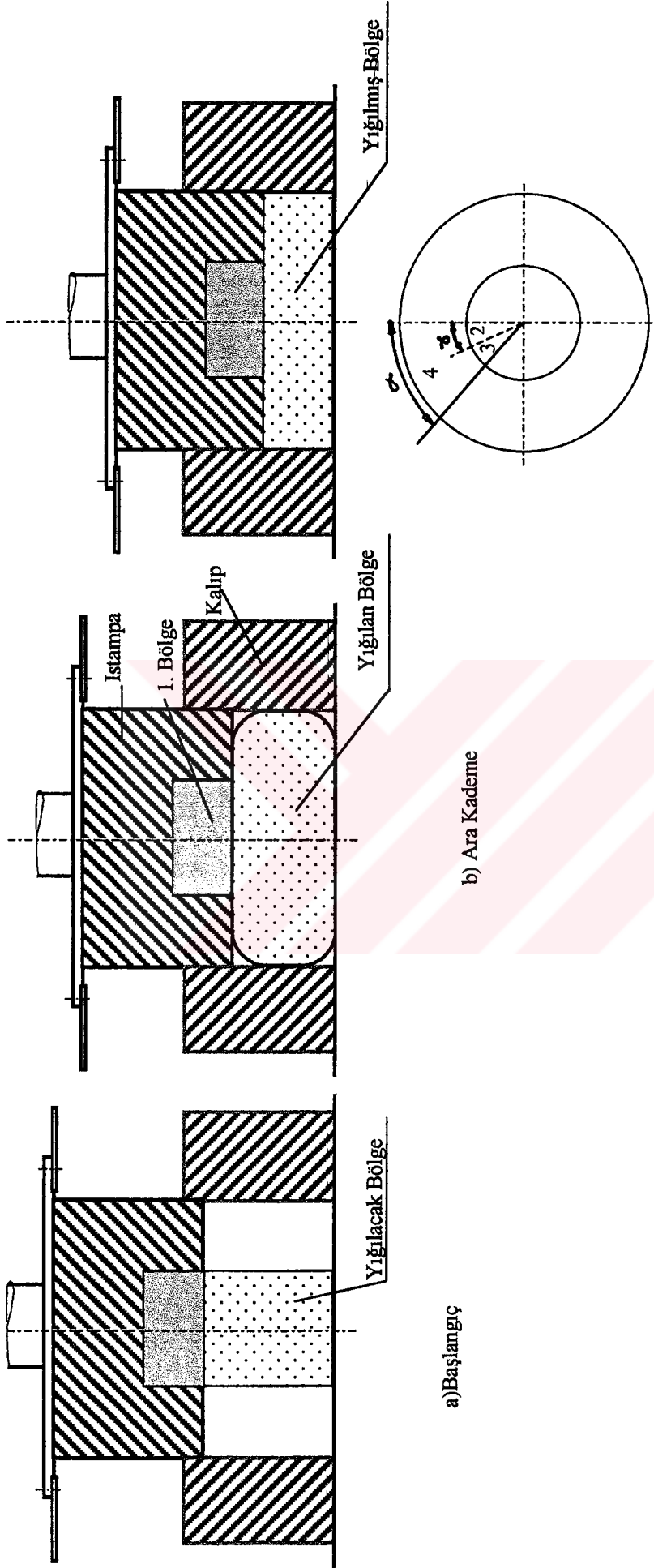
Hız alanının kinematik kabulleri hacim sabitliğini ve sınır şartlarını sağlamalıdır. İş parçası Şekil 6.2.'de görüldüğü gibi 4 deformasyon bölgesine bölünmüştür ve her bölgenin hız alanları Tablo 6.2.'de verilmiştir.



- a -



Şekil 6.1. Yığılmış Taslaklarda Ölçüm Büyüklükleri ve Çalışma Sonuçlarından Örnekler
a)Yığılmış Taslaklarda Ölçüm Büyüklükleri b)Talaşlı Şekil Verilen Döndüren Dişli Taslağı c)Dövülmüş Taslaklar d)Bitmiş Dişli Çarklar



Şekil 6.2. Üst Sınır Analizi Yöntemi için Deformasyon Bölgeleri

Tablo 6.2. Bölgelere Göre Hız Alanları

BÖLGE	HIZ		
1	$V_z = V_0$	$V_t = 0$	$V_r = 0$
2	$V_z = - (V_0 / H)z$	$V_t = -V_0 (\alpha - \gamma)r/H$	$V_r = V_0 \alpha r / 2H\gamma$
3	$V_z = - (V_0 / H)z$	$V_t = -V_0 (\alpha - \gamma)r/H$	$V_r = V_0 \alpha r / 2H\gamma$
4	$V_z = - (V_0 / H)z$	$V_t = V_0 \alpha r / 2H$	$V_r = V_0 r_0^2 \alpha / 2Hr\gamma$

Parça 45°lik açılarla 8 eşit parçaya bölünmüştür. Simetri düzlemlerinde metal geçişi yoktur. Böylece dövme prosesinde her birim kendi içinde ele alınacaktır. Yukarıdaki farz edilen hız alanlarına dayanarak toplam enerji ihtiyacı şu şekilde belirlenebilir:

$$E_T = \frac{2\sigma_o}{\sqrt{3}} \int_v \left(0.5 \dot{\epsilon}_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} \right)^{1/2} dv + \int_{A_s} \tau_s (\Delta v) dA_s + \int_{A_R} \tau_R (\Delta v) dA_R \quad (6.1)$$

Burada;

ϵ_{ij} = Genleme Hızı

σ_o = Akma Sınırı

τ_R = Sürtünmeye bağlı kayma gerilmesi

τ_s = İki bölge arasındaki kayma gerilmesi

A_R = Sürtünme yüzeyleri

A_s = Hız süreksizliği yüzeyleri

Deformasyon için gerekli olan enerji ifadesi biraz daha geniş olarak şöyle verilebilir:

$$E_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_0 \int_z \int_\theta \int_r \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\epsilon}_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}} dr d\theta dz \quad (6.2)$$

Bu eşitliği biraz daha açarsak;

$$E_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_0 \int_z \int_\theta \int_r \sqrt{\frac{1}{2} (\dot{\epsilon}_{rr}^2 + \dot{\epsilon}_{\theta\theta}^2 + \dot{\epsilon}_{zz}^2) + \dot{\epsilon}_{rz}^2 + \dot{\epsilon}_{r\theta}^2 + \dot{\epsilon}_{\theta z}^2} dr d\theta dz \quad (6.3)$$

denklemini elde edilir.

$$\dot{\epsilon}_{rr} = \frac{\partial V_r}{\partial r}, \quad \dot{\epsilon}_{\theta\theta} = \frac{V_t}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_t}{\partial \theta}, \quad \dot{\epsilon}_{zz} = \frac{\partial V_z}{\partial z} \quad (6.4)$$

$$\dot{\epsilon}_{r\theta} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} + \frac{\partial V_t}{\partial r} - \frac{V_t}{r} \right), \quad \dot{\epsilon}_{rz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_r}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial r} \right), \quad \dot{\epsilon}_{\theta z} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_t}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \theta} \right) \quad (6.5)$$

Örnek olması açısından 2. bölge için çözüm yapacak olursak;

$$\dot{\epsilon}_{rr} = \frac{V_0 \alpha}{2H\gamma}, \quad \dot{\epsilon}_{\theta\theta} = -V_0 \left(\frac{(\alpha - \gamma) + 1}{H} \right), \quad \dot{\epsilon}_{zz} = -\frac{V_0}{H} \quad (6.6)$$

$$\dot{\epsilon}_{r\theta} = -\frac{V_0 \alpha}{4H\gamma^2}, \quad \dot{\epsilon}_{rz} = 0, \quad \dot{\epsilon}_{\theta z} = -\frac{V_0}{2H} \quad (6.7)$$

elde edilir. İşlemler her 4 bölge için yapıp integrasyonla plastik deformasyon için harcanması gereken iç enerji;

$$E_d = 2V_0 \sigma_0 r_0^2 \frac{(\alpha - \gamma)}{\sqrt{3}} z + 2z V_0 \sigma_0 r_0^2 \frac{1}{2\sqrt{3}} (\alpha^2 - 2\alpha\gamma - 4\gamma^2)^{\frac{1}{2}} + z V_0 \sigma_0 r_0^2 \alpha \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{R}{r_0} \quad (6.8)$$

olarak bulunur. Burada R değeri;

$$R = r_0 \sqrt{1 + \frac{\pi L_1}{6H\gamma}} \quad \text{olacak şekilde hesaplanabilir.}$$

Sınırlardaki hız süreksizliğine bağlı olarak ortaya çıkan enerji tüketimi ise;

$$\begin{aligned} E_{VD} = & 2V_0 \sigma_0 r_0^3 (\alpha - \gamma)^2 \frac{1}{6H\sqrt{3}} z + \\ & + 2 \frac{V_0 \sigma_0 r_0^3}{3H\sqrt{3}} \left(\frac{\alpha - \gamma}{\gamma} \right) \left\{ \frac{\gamma}{2} \sqrt{\gamma^2 + \frac{\alpha^2}{4(\alpha - \gamma)^2}} + \frac{\alpha^2}{8(\alpha - \gamma)^2} \cdot \ln \frac{2 \left(\gamma + \sqrt{\gamma^2 + \frac{\alpha^2}{4(\alpha - \gamma)^2}} \right)}{\frac{\alpha}{\alpha - \gamma}} \right\} z + \\ & 2V_0 \sigma_0 r_0^2 \frac{\alpha}{4\sqrt{3}\gamma} z + V_0 \sigma_0 r_0^2 (\alpha - \gamma) \gamma \frac{z}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (6.9)$$

olarak belirlenir.

Kalıplar ile iş parçası arasındaki sürtünme için harcanması gereken enerji miktarı ise şöyle ifade edilir:

$$\begin{aligned}
E_f = & 2V_0 r_0 \sigma_0 \mu \pi L_0 + 2V_0 \sigma_0 r_0^3 \frac{\mu}{6H} (\alpha - \gamma)^2 z + 2V_0 \sigma_0 r_0^2 \frac{\mu \alpha}{2H} (R - r_0) z + \\
& + 2 \frac{V_0 r_0^3 \sigma_0}{3H \sqrt{3}} \left(\frac{\alpha - \gamma}{\gamma} \right) \left\{ \frac{\gamma}{2} \sqrt{\gamma^2 + \frac{\alpha^2}{4(\alpha - \gamma)^2}} + \frac{\alpha^2}{8(\alpha - \gamma)^2} \cdot \ln \frac{2 \left(\gamma + \sqrt{\gamma^2 + \frac{\alpha^2}{4(\alpha - \gamma)^2}} \right)}{\frac{\alpha}{\alpha - \gamma}} \right\} \cdot z \sqrt{3} \mu + \\
& \frac{2z \mu V_0 \sigma_0 r_0}{H} + 2V_0 \sigma_0 r_0^2 \frac{\mu \alpha}{2\gamma} \ln \frac{R}{r_0} z
\end{aligned} \tag{6.10}$$

Burada,

z = Bölge sayısı

H = Parçanın yığılmış yüksekliği

L_1 = Zımbanın deformasyon boyunca düşey hareket miktarı

L_0 = Şekillenecek kısmın yüksekliği

r_0 = Hammadde yarıçapı

Böylece, V_0 koç hızı olmak üzere, toplam yük miktarını şöyle hesaplayabiliriz:

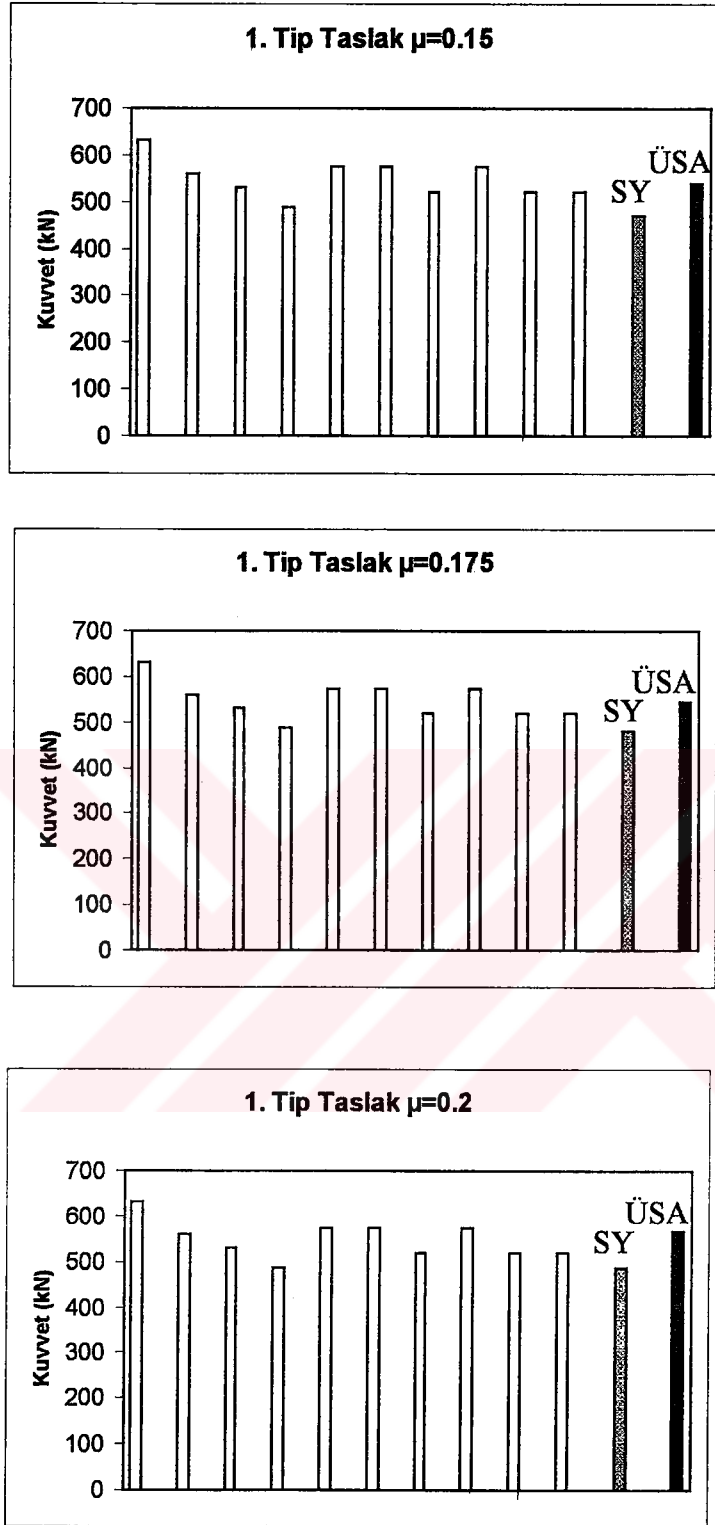
$$F = E_t / V_0 \tag{6.11}$$

6.1.2.2. Kranklı Mekanik Pres Deneyleri Kuvvet Ölçüm Sonuçları

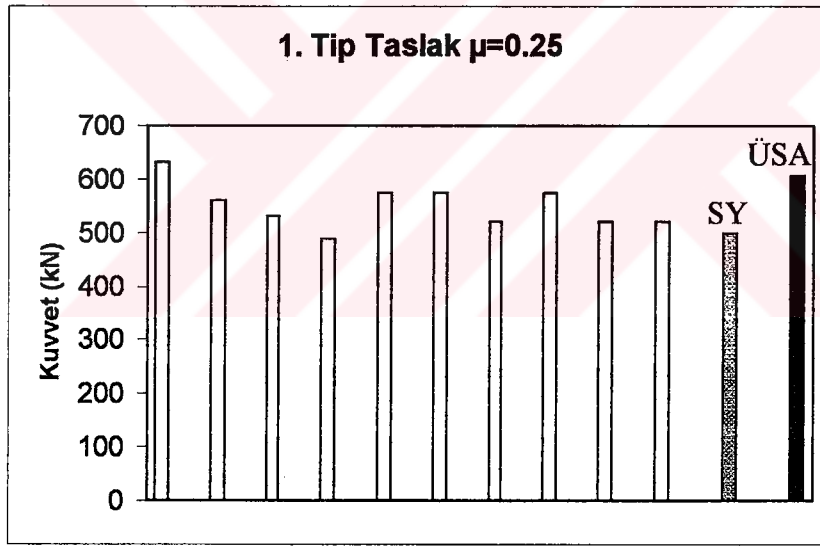
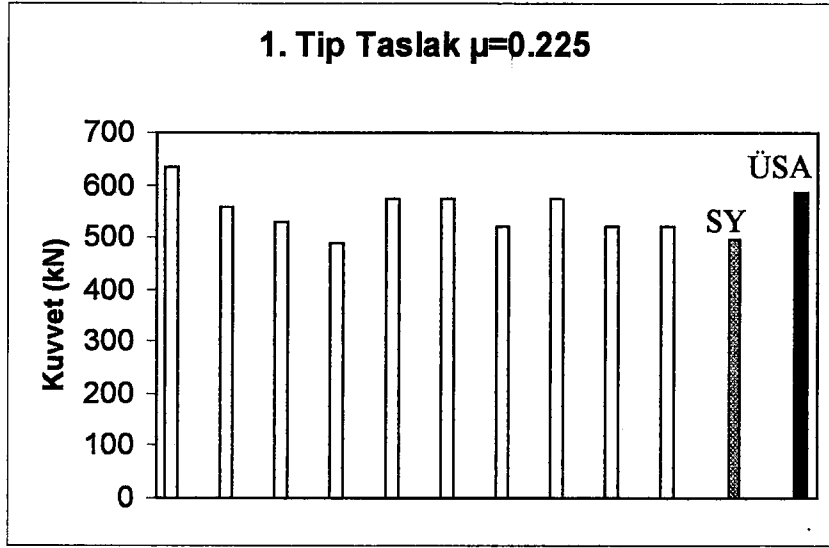
Kranklı mekanik preslerde gerçekleştirilen deneylerde 6 ayrı pompa tipine ait kuvvet ölçüm değerleri kaydedilmiştir. Bu grup deney numuneleri Bölüm 5'te bahsedilen kuvvet yaklaşımlarından serbest yığma ve üst sınır analizine tabi tutulmuştur. Yazılan bir Basic bilgisayar programı ile kuvvet yaklaşım değerleri bulunmuştur. Kuvvet ölçümleri ve yaklaşım değerleri verilirken 5 farklı sürtünme değeri göz önüne alınmıştır. Bunlar 0.15, 0.175, 0.2, 0.225 ve 0.25 'tir.

Serbest yığma, formülasyon gereği parçaların hammadde boyuyla ilgilenmediği için bir malzemenin aynı çapa ancak farklı yüksekliklere yığılması sonucunda yığılacak yükseklik arttıkça tahmini kuvvet değeri de düşecektir. Bu durumda serbest yığma kuvvet formülasyonunun yalnızca direkt olarak $\phi 42$ mm. çapa yığılabilen ilk 3 tip dişli pompa dişli taslaklarına uygulanmasına karar verilmiştir. Dişli yüksekliği en düşük olan 1. tip pompada gerçeğe yakın sonuçlar veren analiz, yükseklik arttıkça ölçülen kuvvetlerden daha aşağıda kalmaktadır. Ancak bu yaklaşımın serbest yığma için olduğu ve deneysel çalışmada ise numunelerin kalıbın yan cidarlarına temas ederek bir dirençle karşılaştığı da unutulmamalıdır. Şekil 6.3., 6.4., 6.5., 6.6., 6.7. ve 6.8.'de; Tablo 6.1.'deki ilk üç tip pompa dişlisinin ölçülen kuvvet değerleri ile değişik sürtünme koşulları için serbest yığma yaklaşımı (diyagramlarda SY) ve üst sınır analizi yöntemine göre hesaplanan (diyagramlarda ÜS) sonuçlar gösterilmektedir.

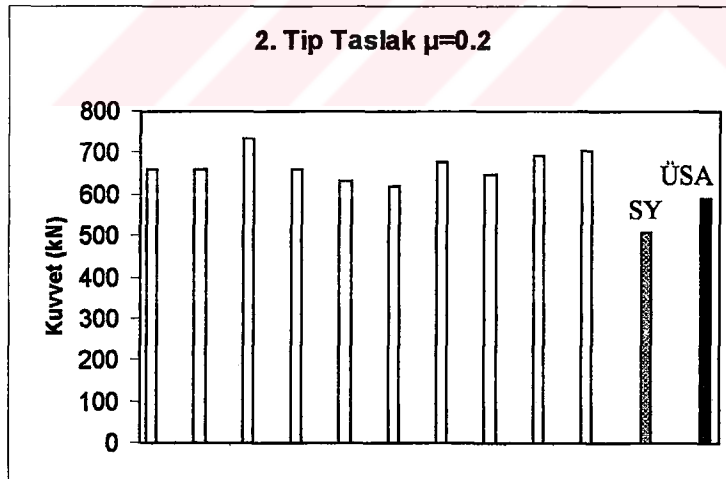
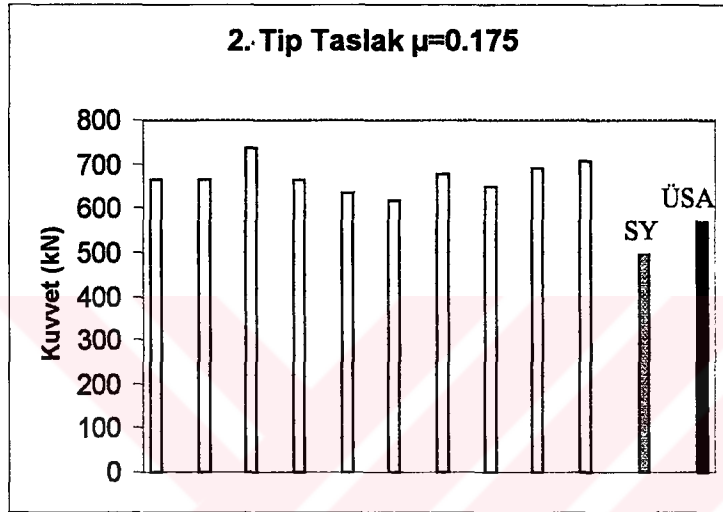
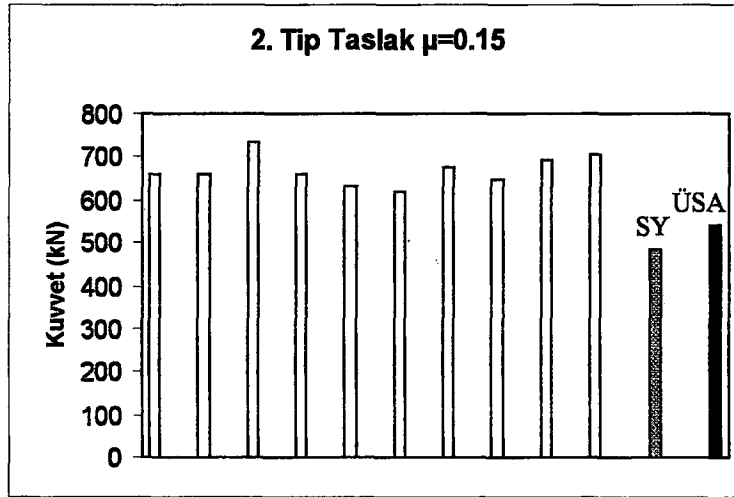
Üst sınır analizi Bölüm 5'te de verildiği gibi az zaman alması ve çok fazla teorik bilgiye gereksinim duymaması nedeniyle kuvvet tahmini hesaplarında sıkça kullanılan bir yöntemdir. Uygun hız alanları seçildiğinde bu yöntem, şekillendirilecek parçanın gereksinim duyduğu kuvvete eşit veya bundan daha fazla bir kuvvet değeri verdiği için, seçilecek iş makinesinin kapasitesinin belirlenmesinde önemli ölçüde faydalı olmaktadır. 4. ve 6. tip arası pompalar yığma kuralları gereği iki kademede şekillendirildiğinden ilk ve ikinci kademelere ait, ölçülen kuvvet değerleri (diyagramlarda beyaz sütunlar) ile yalnızca üst sınır analiz yöntemi kullanılarak hesaplanan tahmini kuvvet değerleri (diyagramlarda siyah sütun) karşılaştırmalı olarak Şekil 6.9., 6.10., 6.11., 6.12., 6.13., 6.14., 6.15. ve 6.16. arasında verilmektedir. $\mu=0.15$ ve 0.175 için hesaplanan değerler genellikle ölçülen kuvvet değerlerinin altında kaldığından yalnızca 4. tip pompalara ait sonuçlarda bu iki sürtünme katsayısı değeri de verilmiş olup, bundan sonraki şekillerde ise yalnızca $\mu=0.2$, 0.225 ve 0.25 değerleri sunulmuştur. Buna göre sürtünme katsayısı değerinin 0.2 ile 0.25 arasında olduğu söylenebilir. Özellikle üst sınır analizi ile ilgili olarak, hesaplanan ve ölçülen kuvvet değerleri arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir.



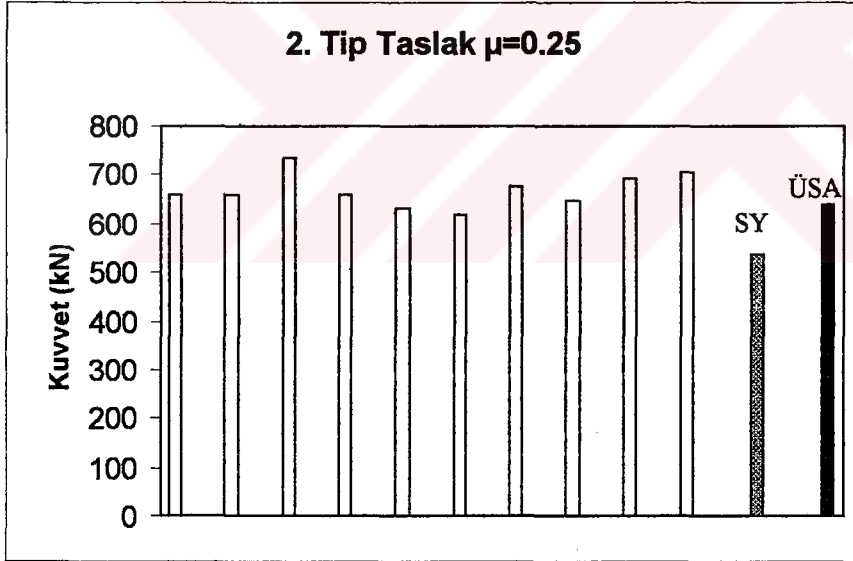
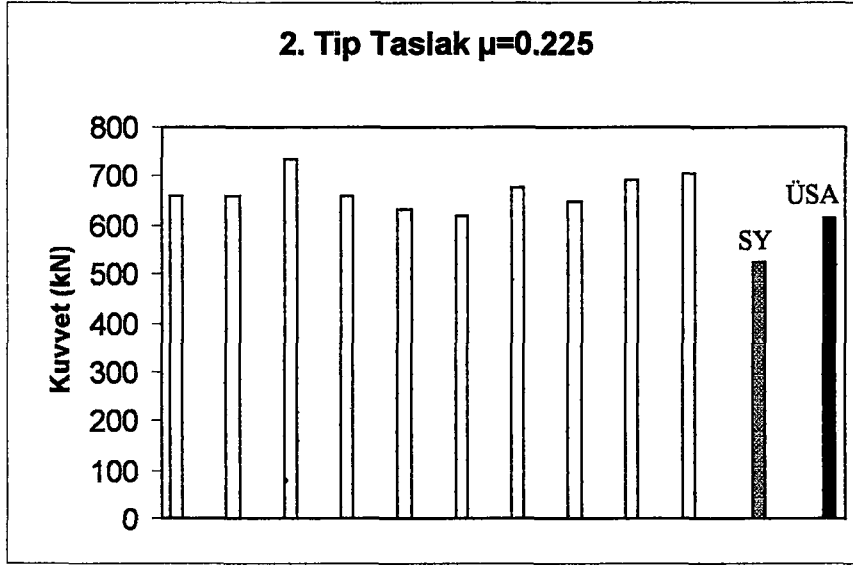
Şekil 6.3. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması (1. Tip Taslak, $T_y=900^\circ\text{C}$, Malzeme:Sementasyon Çeliği)



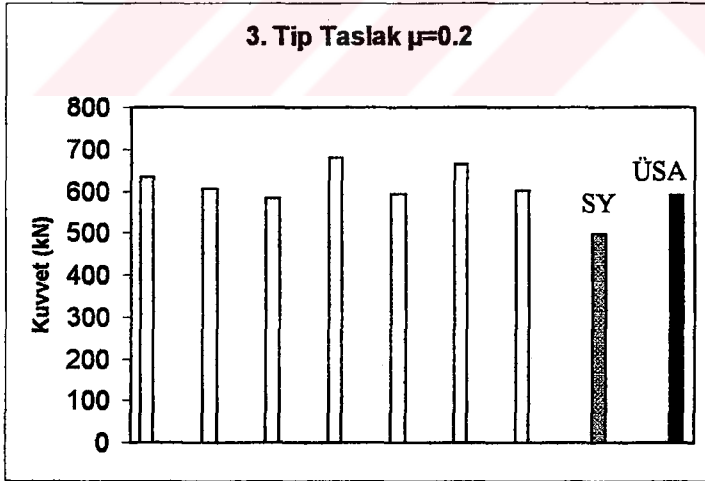
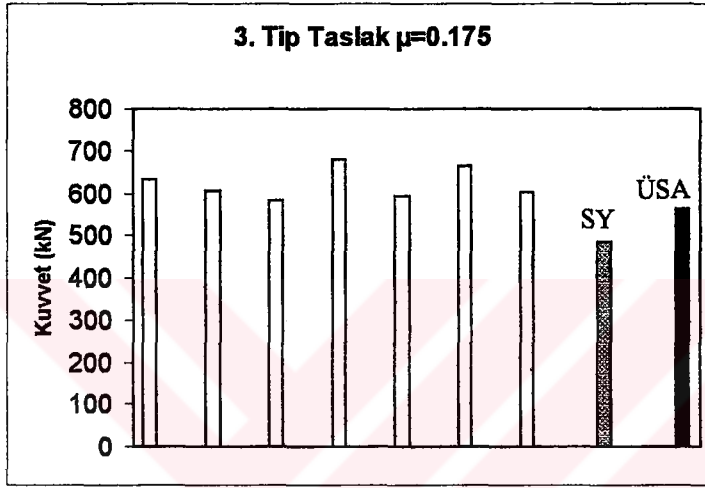
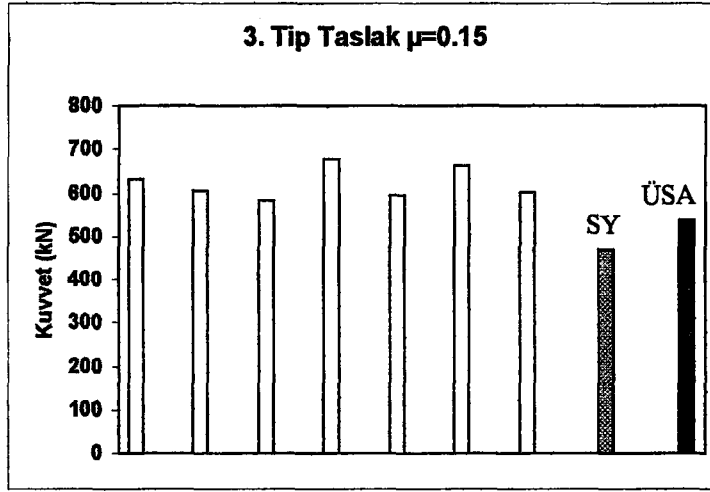
Şekil 6.4. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması (1. Tip Taslak, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme:Sementasyon Çeliği)



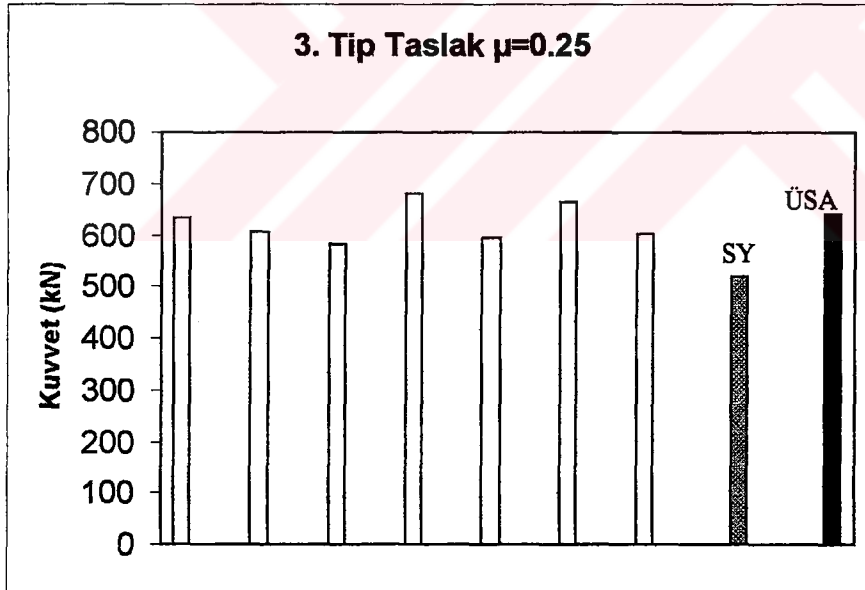
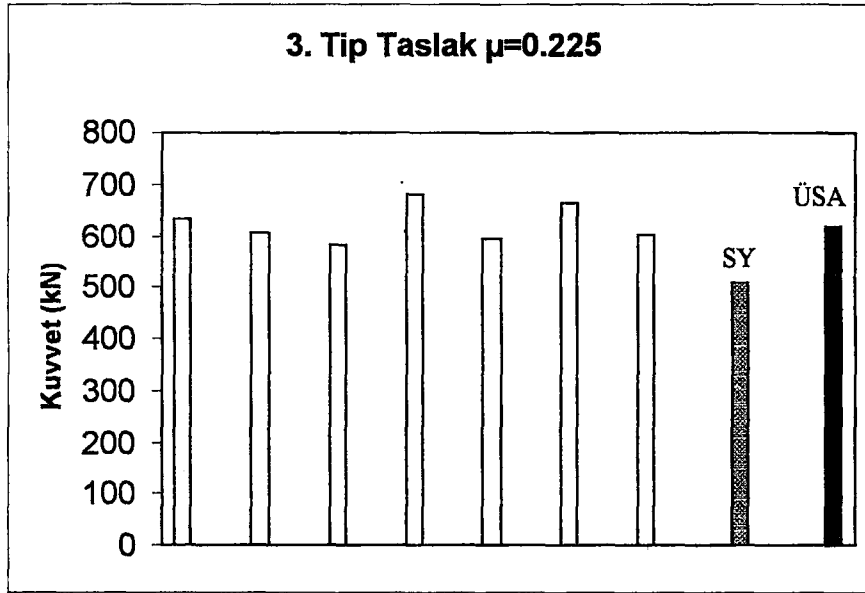
Şekil 6.5. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması (2. Tip Taslak, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme:Sementasyon Çeliği)



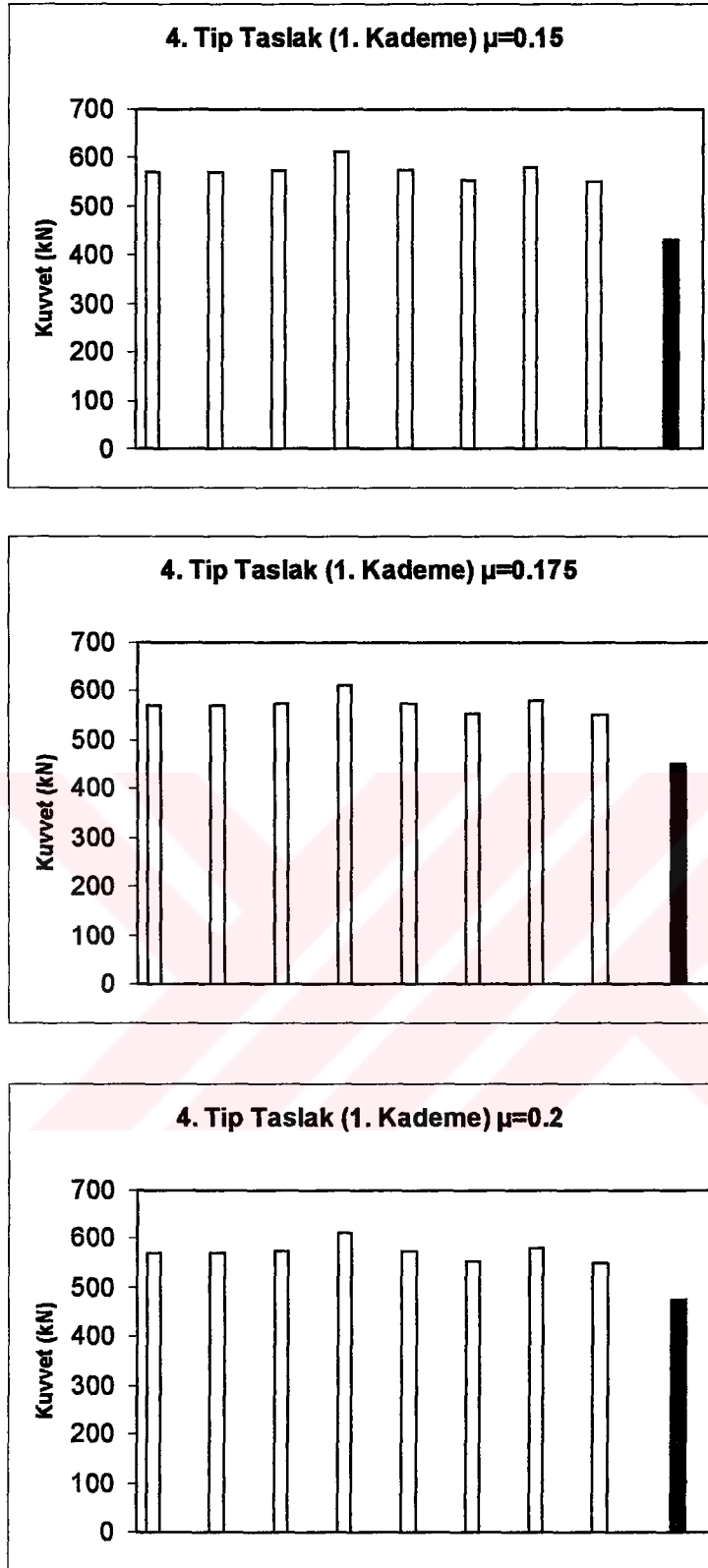
Şekil 6.6. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması (2. Tip Taslak, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme:Sementasyon Çeliği)



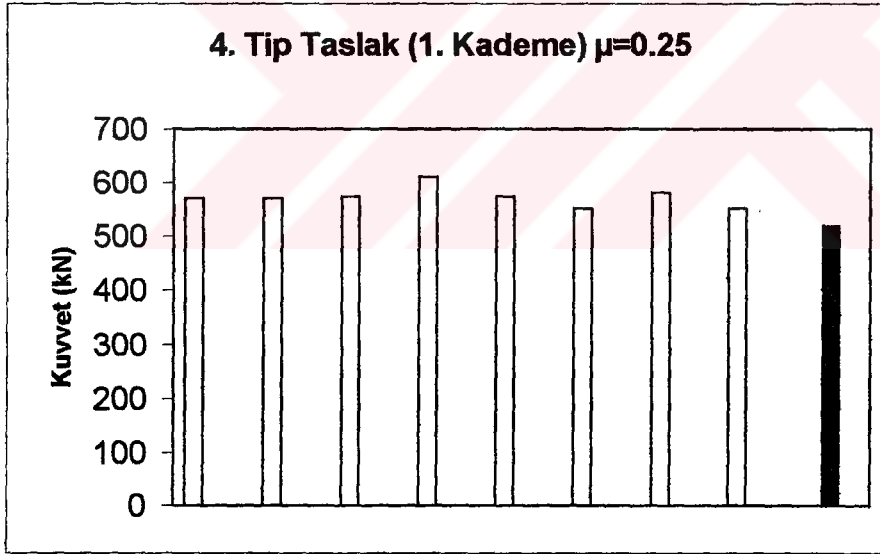
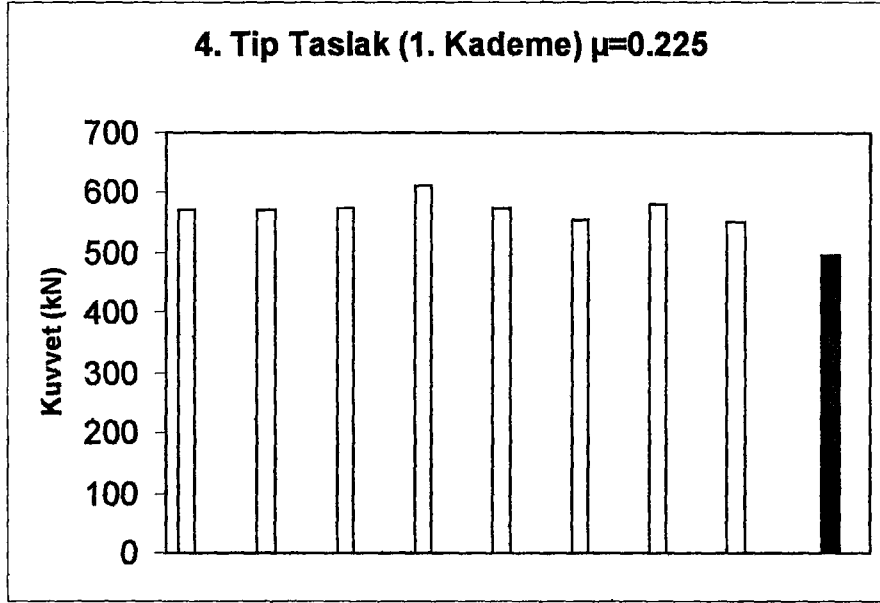
Şekil 6.7. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması (3. Tip Taslak, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme: Sementasyon Çeliği)



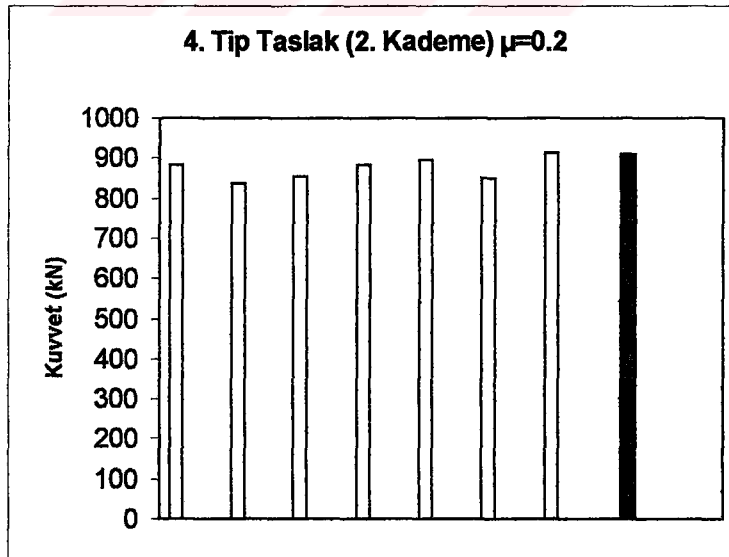
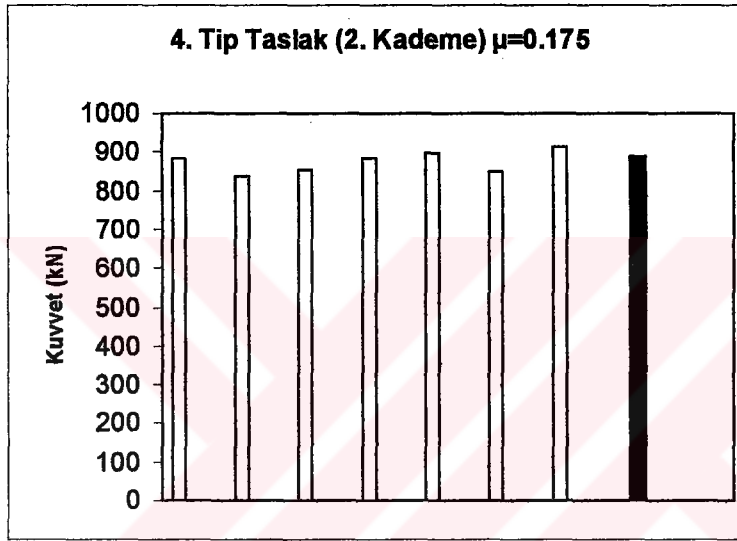
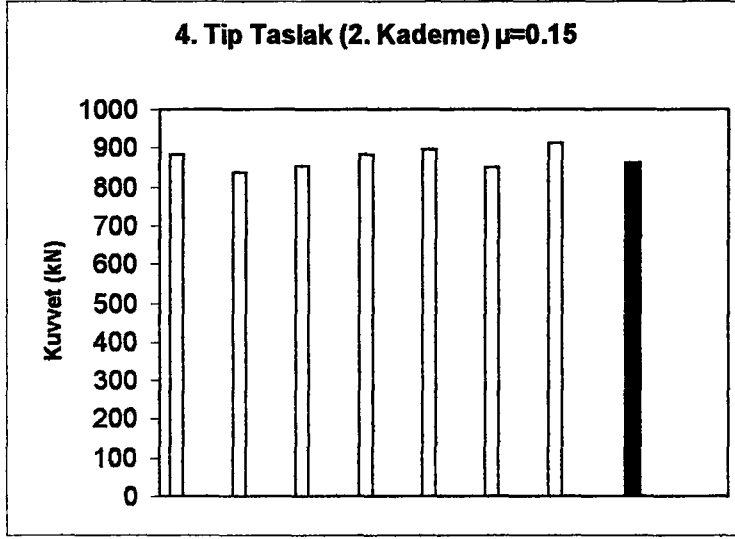
Şekil 6.8. Serbest Yığma (SY) ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımları ile Kuvvet Ölçümlerinin Karşılaştırılması (3. Tip Taslak, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme: Sementasyon Çeliği)



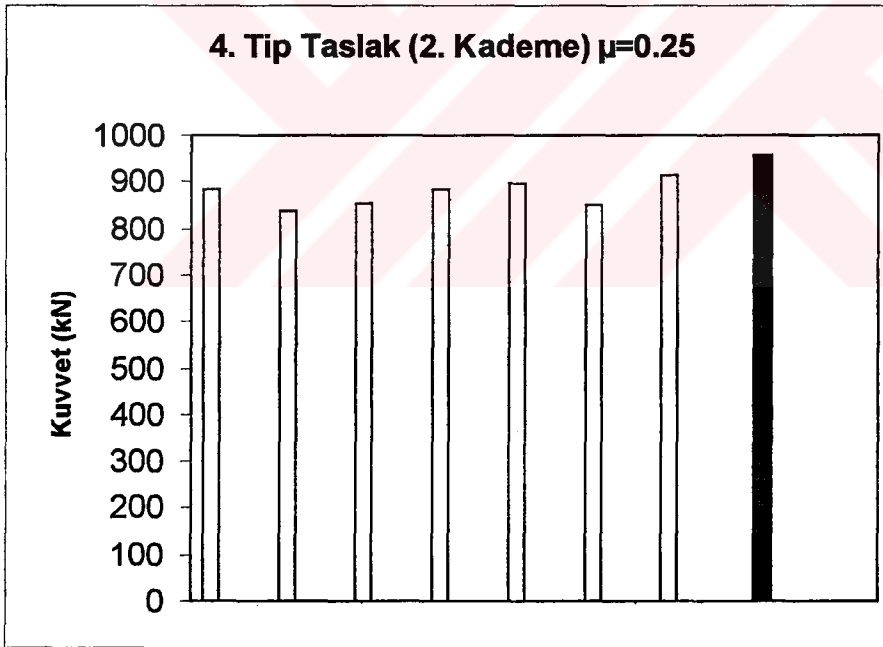
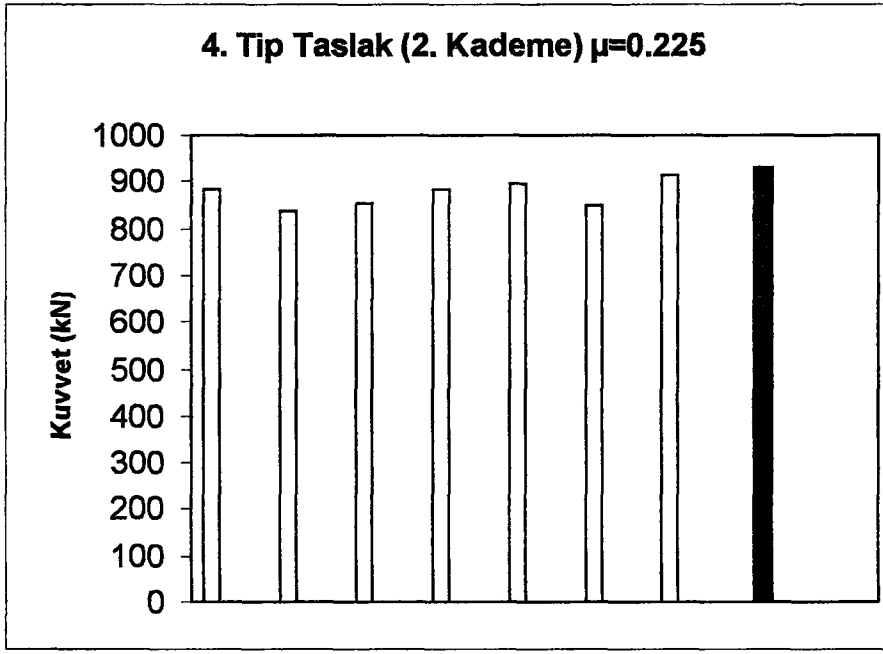
Şekil 6.9. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması
(4. Tip Taslak İlk Kademe, $T_y=900^\circ\text{C}$, Malzeme:Sementasyon Çeliği)



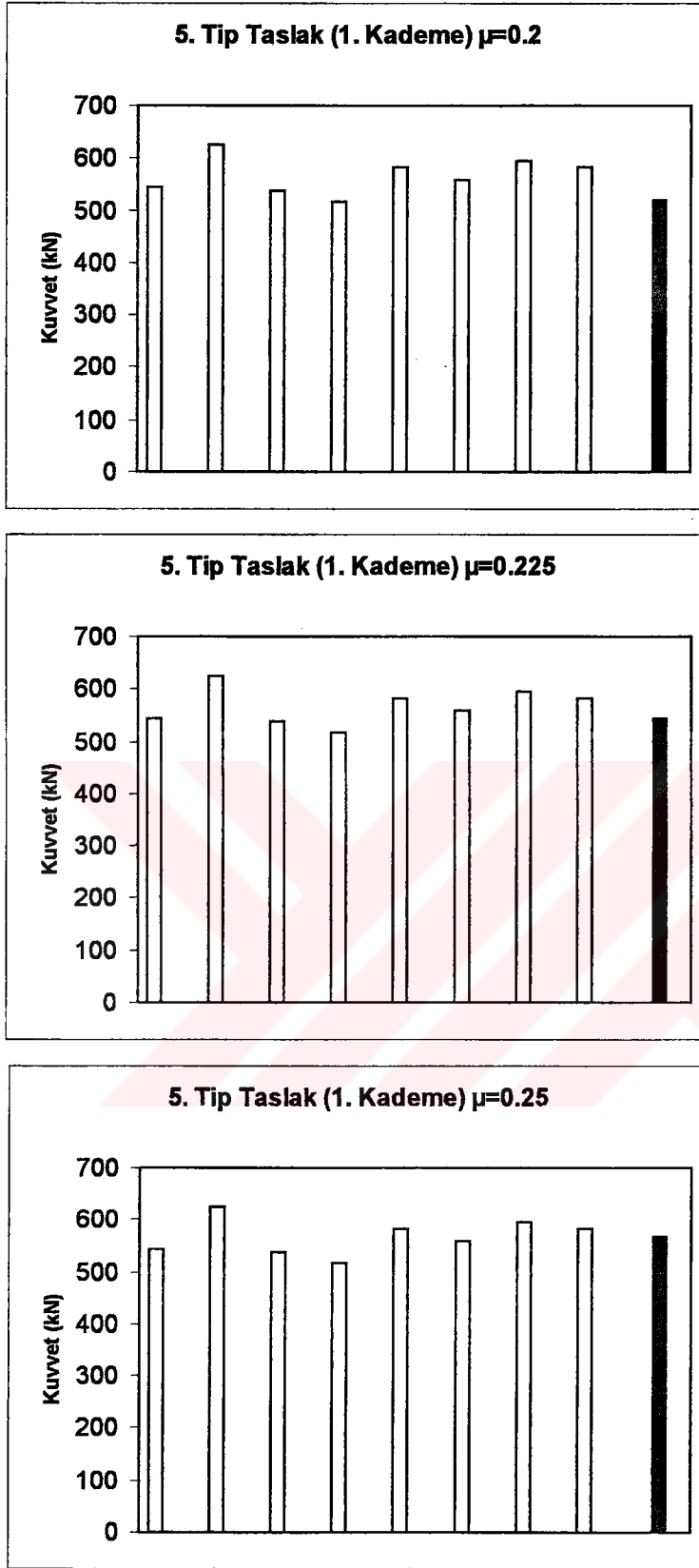
Şekil 6.10. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması (4. Tip Taslak İlk Kademe, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme:Sementasyon Çeliği)



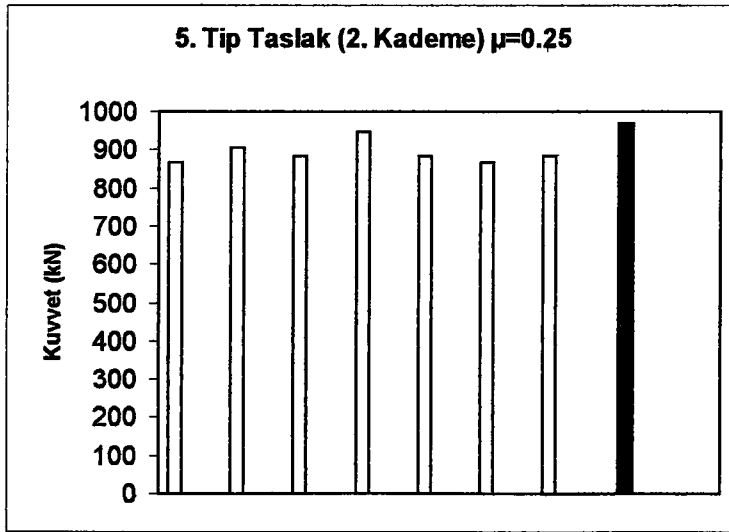
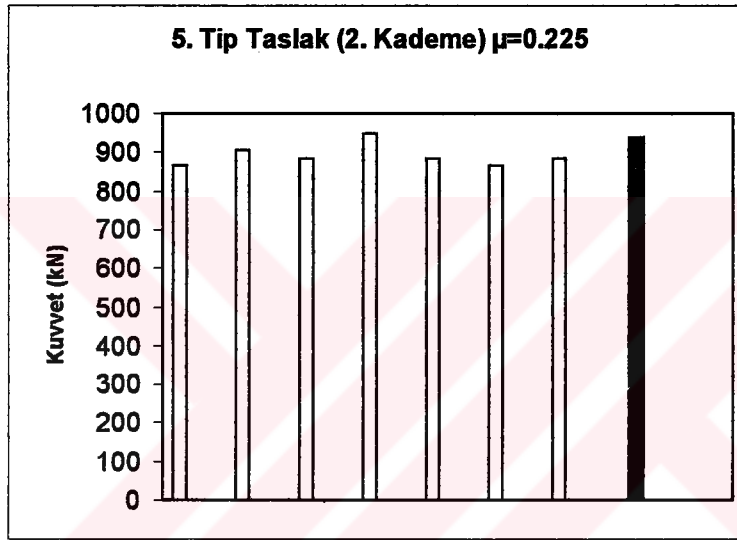
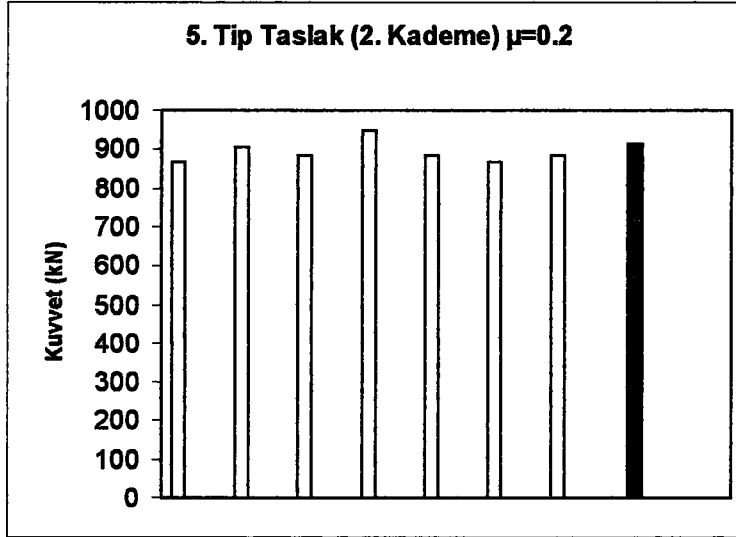
Şekil 6.11. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması (4. Tip Taslak İkinci Kademe, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme:Sementasyon Çeliği)



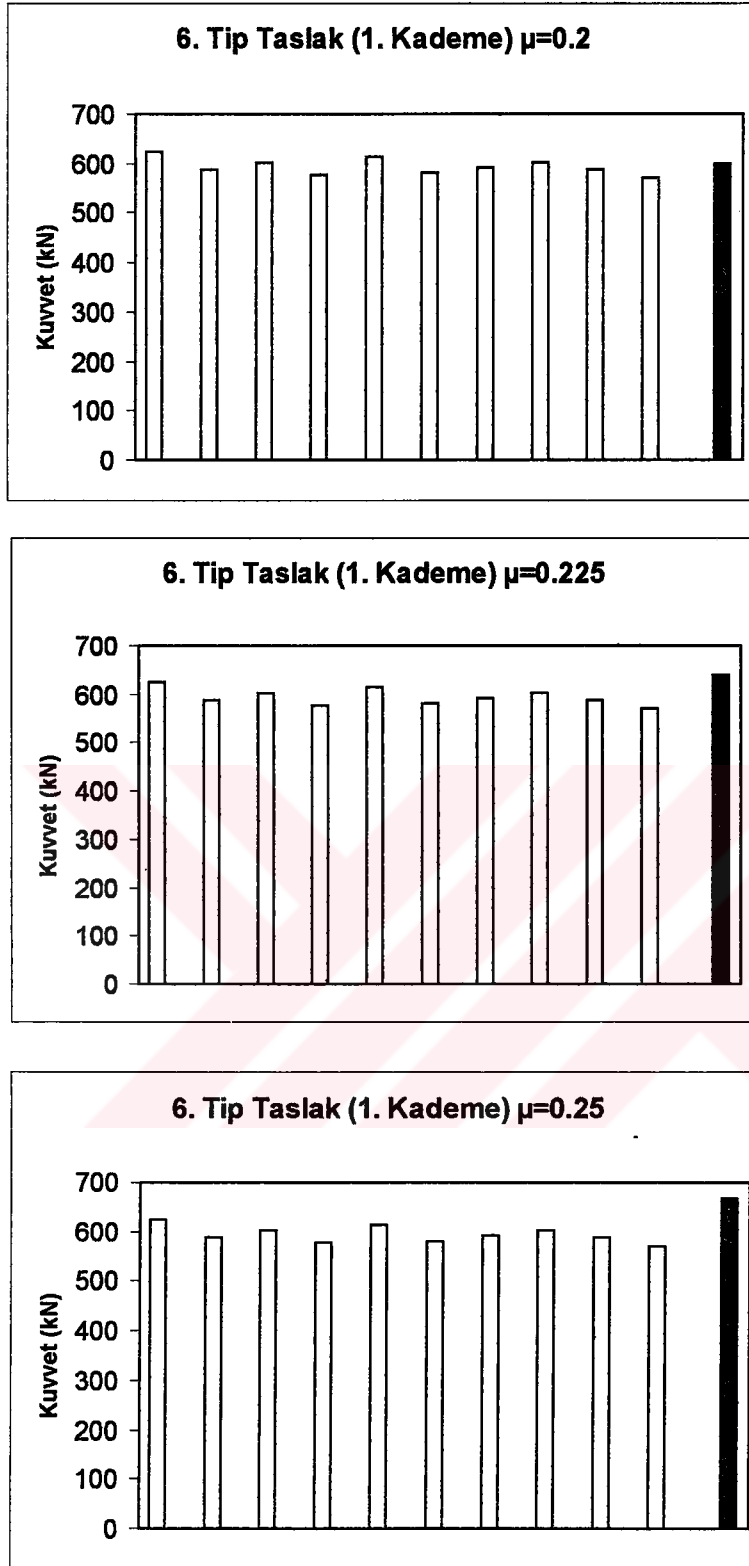
Şekil 6.12. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması (4. Tip Taslak İkinci Kademe, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme:Sementasyon Çeliği)



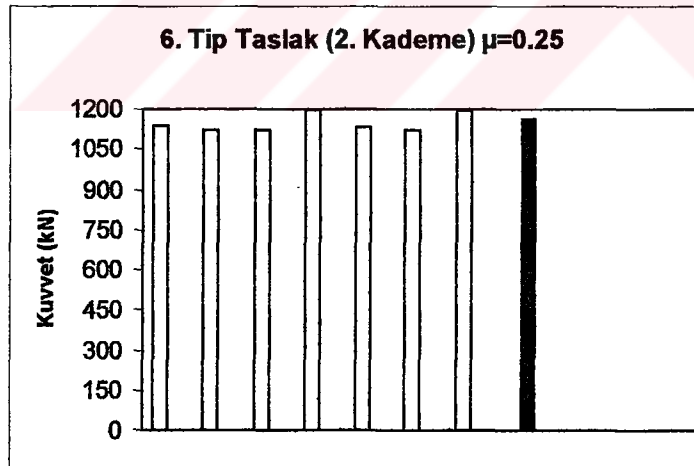
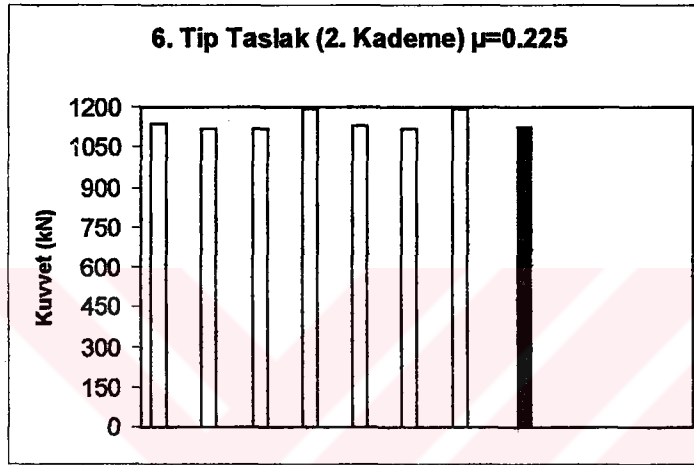
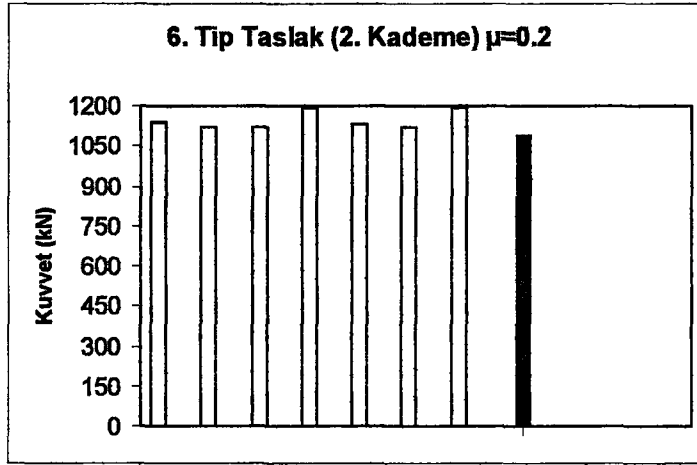
Şekil 6.13. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması (5. Tip Taslak İlk Kademe, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme: Sementasyon Çeliği)



Şekil 6.14. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması (5. Tip Taslak İkinci Kademe, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme:Sementasyon Çeliği)



Şekil 6. 15. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması (5. Tip Taslak İlk Kademe, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme:Sementasyon Çeliği)

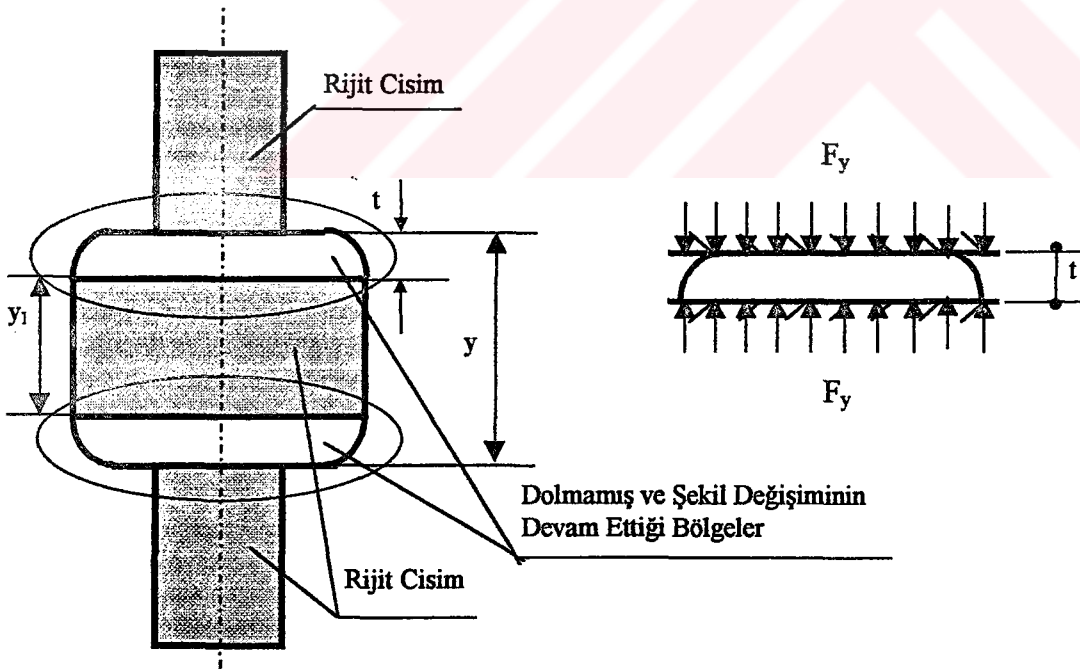


Şekil 6.16. Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımı ile Kuvvet Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması (6. Tip Taslak İkinci Kademe, $T_y=900^{\circ}\text{C}$, Malzeme:Sementasyon Çeliği)

6.1.2.3. Hidrolik Pres Deneyleri Kuvvet Ölçüm Sonuçları

Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Laboratuvarında gerçekleştirilen hidrolik pres deneylerinde, yığılan kısım yüksekliği en düşük olan 1.tip taslaklar kullanılmıştır. Bu gruptaki numunelere Bölüm 5’te bahsedilen her 3 kuvvet analiz yöntemi de uygulanmıştır.

Deneyden önce eşit sürtünme koşullarının sağlanması amacıyla her bir numune asetonla silinmiştir. Değişik yığma yüksekliklerinde durdurulan numunelerin her birinde, yığılmış olan yükseklik (y) ve kalıp kenarlarına değmiş olan kısım (y_1) ölçülerek $t = (y - y_1)/2$ olacak şekilde ince kesitlerin yığılması ile ilgili analiz yönteminde kullanılmak üzere, kalıp cidarına henüz değmemiş olan kısımlar (t) belirlenmiştir (Şekil 6.17.).

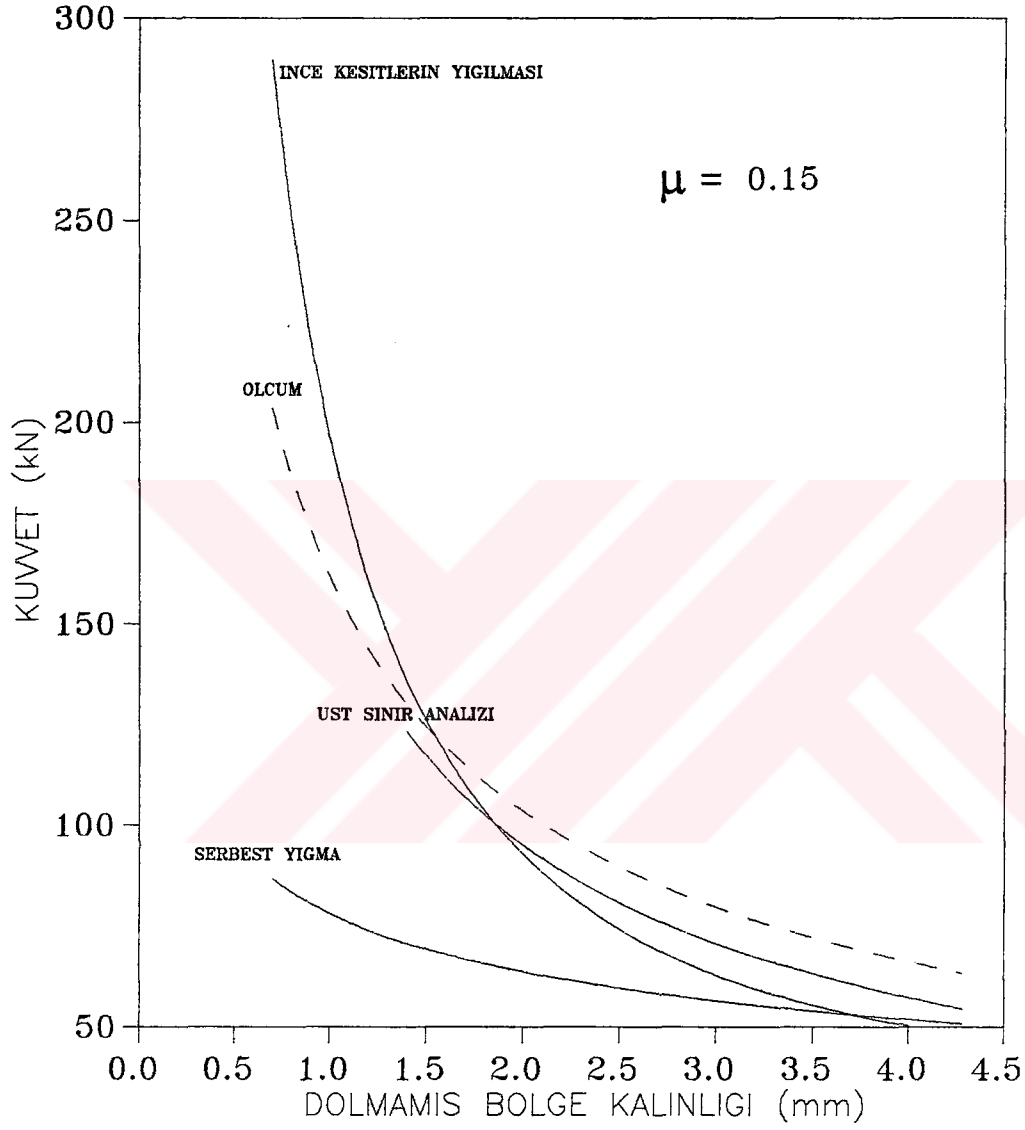


Şekil 6.17. Yığılmış Parçalara “İnce Kesitlerin Yığılması” Yaklaşımının Uygulanması

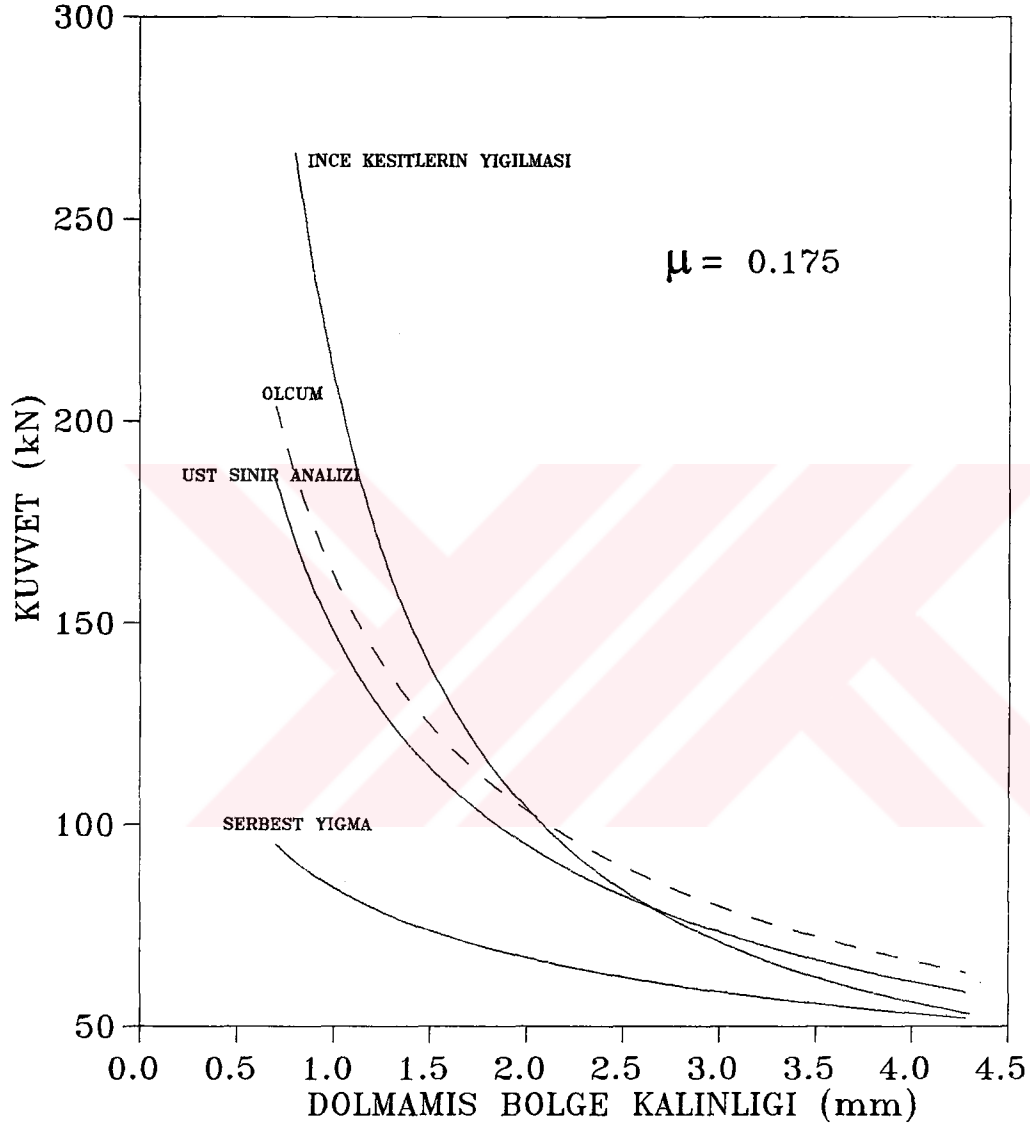
Kalıp yan cidarlarına değmiş olan kısımda bir şekil değişikliği olmayacağından ıstampanın, önündeki, kalıp yan cidarlarına henüz temas etmemiş olan ince kesitli bir kısmı yıgmaya çalıştığı düşünülerek hesaplar bu yönde yapılmıştır.

Istampa, Şekil 5.4.'te t_0 yüksekliğinin t 'ye indirilmesi gibi Şekil 6.17.'deki t yüksekliğini azaltmaya çalışacaktır. Böylece çeşitli t değerleri ölçülerek, ölçülen kuvvet değerleri ile ince kesitlerin hesabıyla ilgili olarak Bölüm 5'te verilen ampirik bağıntılar karşılaştırılmıştır.

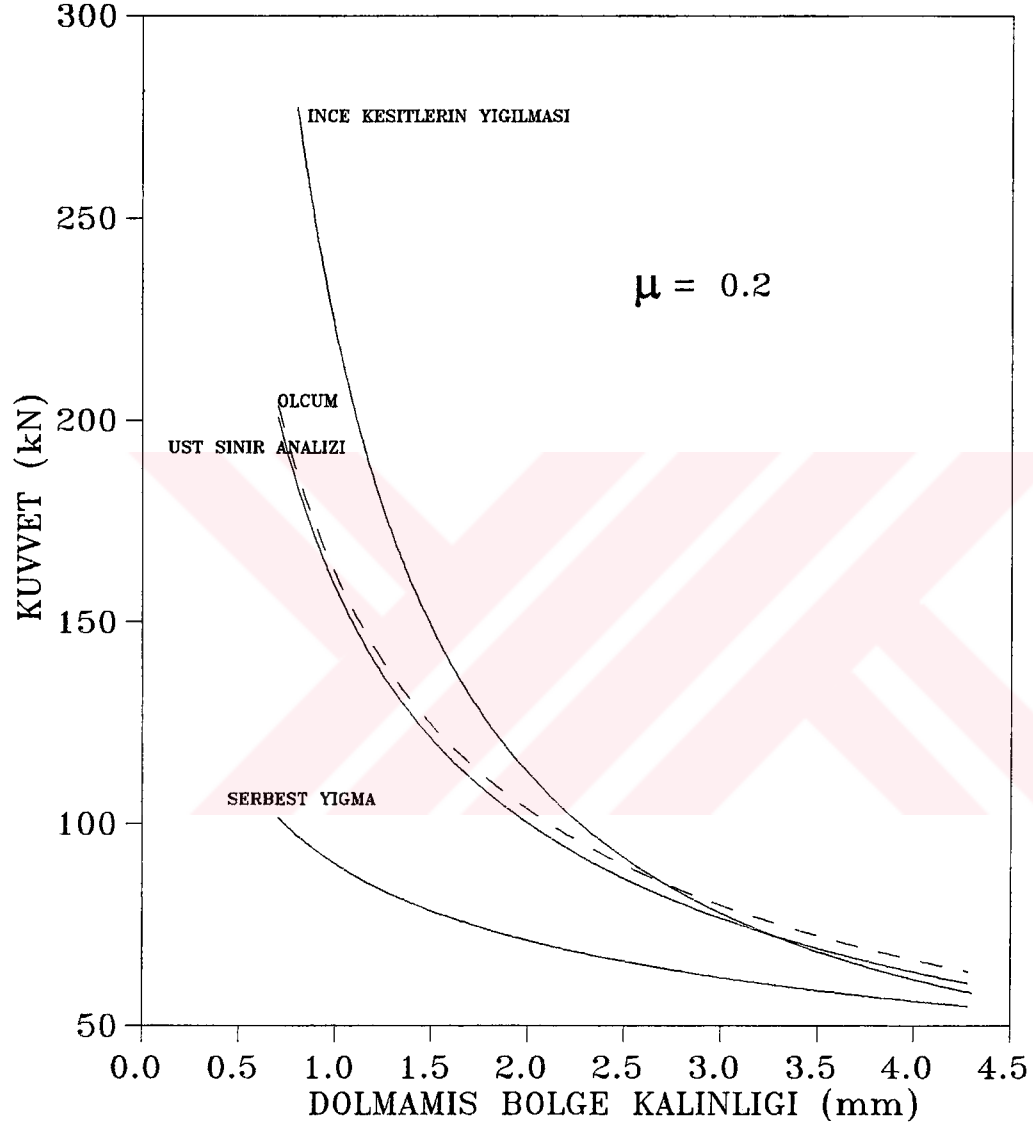
Yine bilgisayarda bir Basic programı yazılmış ve buna göre değişik sürtünme değerleri için ($\mu=0.15, 0.175, 0.2$ ve 0.225) tahmini kuvvet değerleri elde edilmiştir. Diyagramlar incelendiğinde sürtünme katsayısının $\mu=0.225$ civarında olduğu söylenebilir. Ölçülen kuvvetlerin, tahmini kuvvetlerin her biriyle ayrı ayrı ve hepsinin bir arada olduğu diyagramlar Şekil 6.18. ve 6.24. arasında gösterilmektedir.



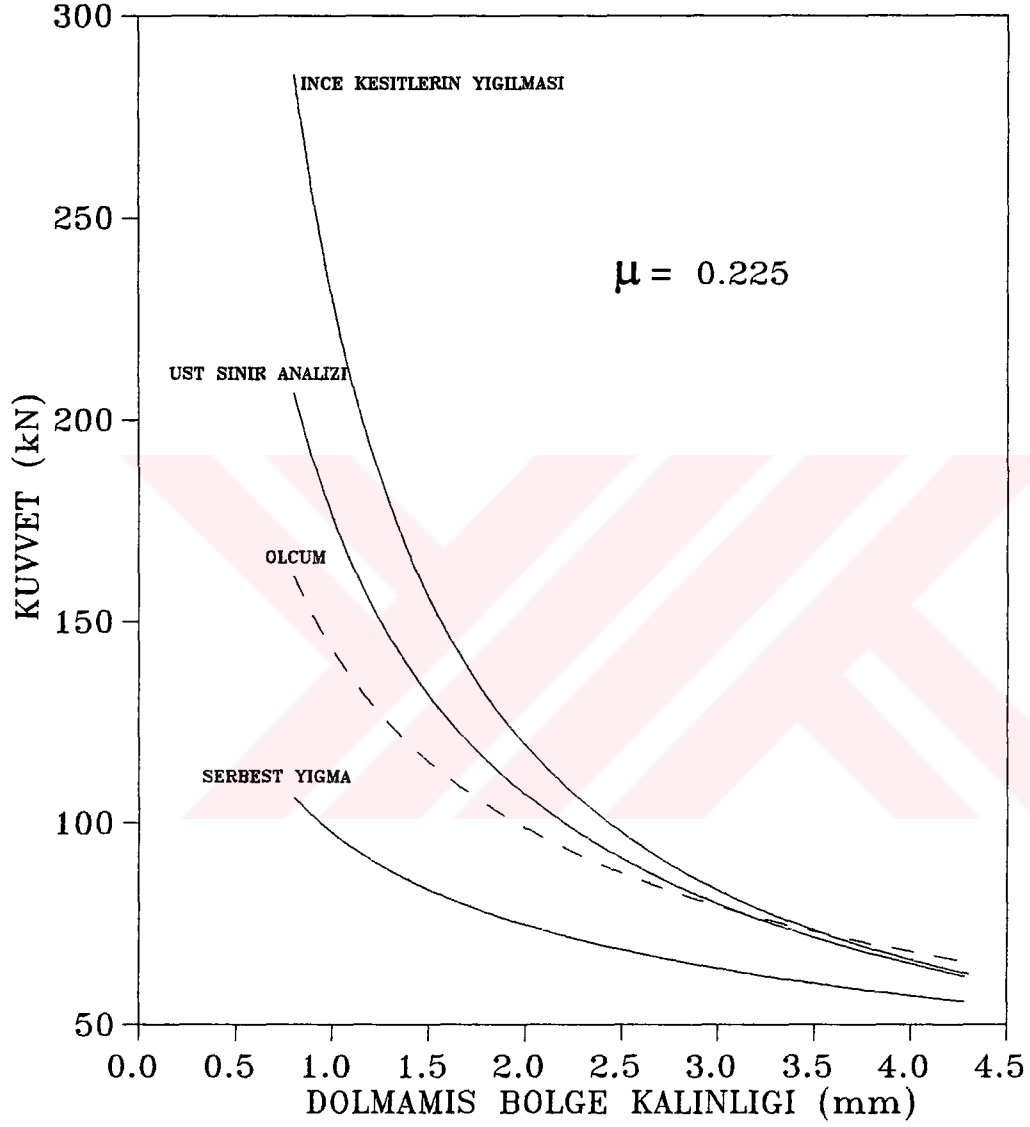
Şekil 6.18. Farklı Yığma Miktarları için SY, ÜSA ve İKY Yaklaşımlarının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması ($d_o=11\text{ mm.}$, $L_y=25.5\text{ mm.}$, $T=T_{oda}$, Malzeme: Kurşun)



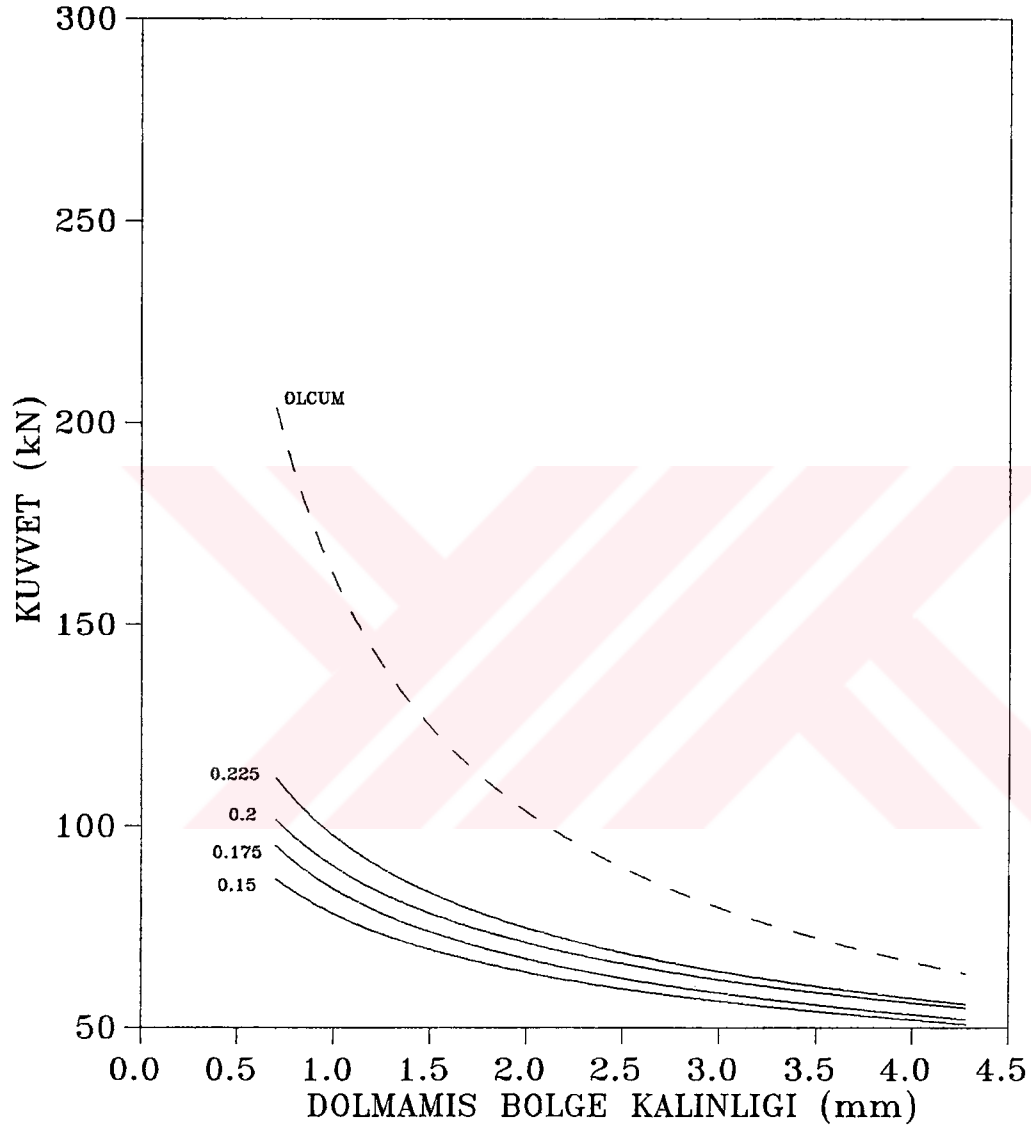
Şekil 6.19. Farklı Yığma Miktarları için SY, ÜSA ve İKY Yaklaşımlarının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması ($d_o=11\text{ mm}$., $L_y=25.5\text{ mm}$., $T=T_{oda}$, Malzeme: Kurşun)



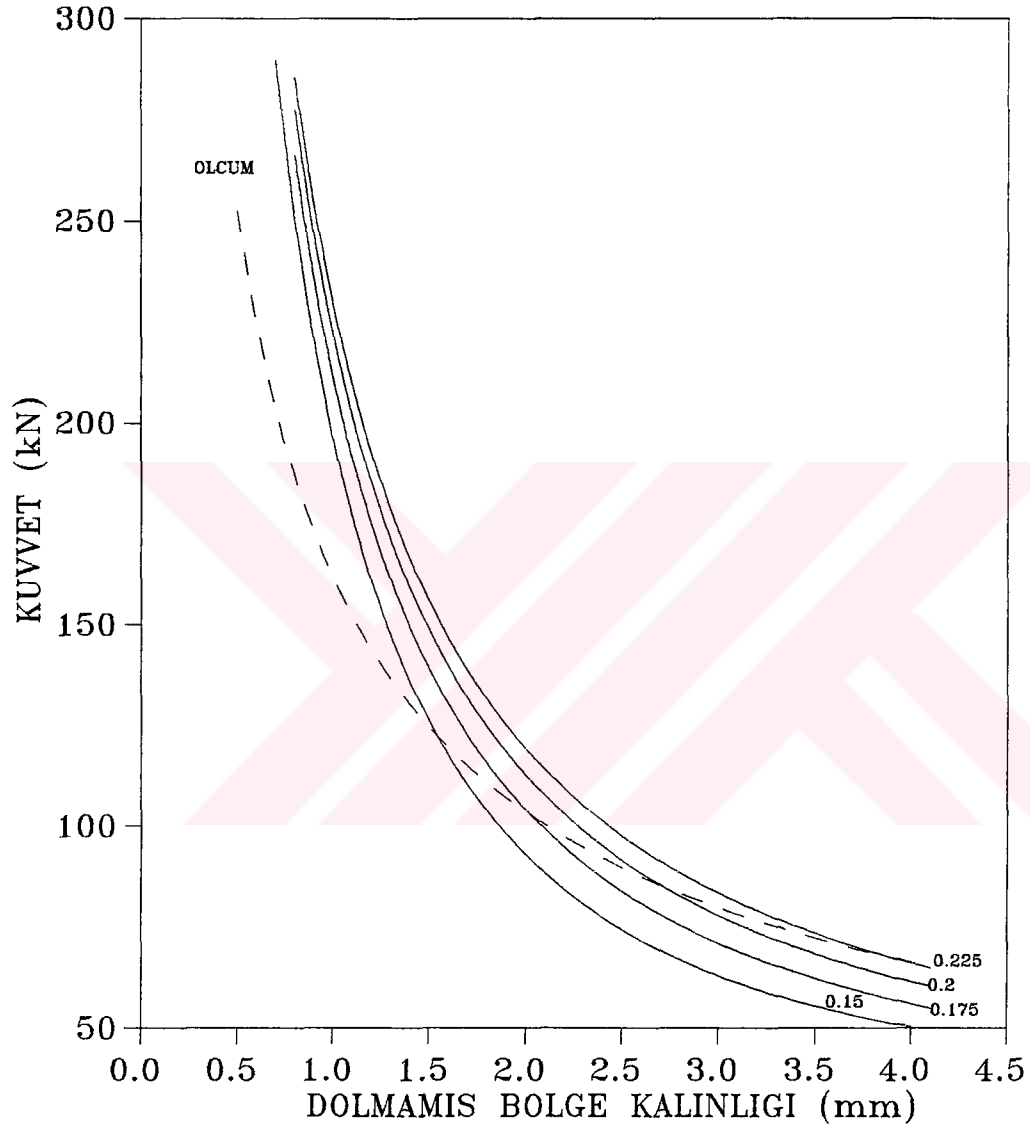
Şekil 6.20. Farklı Yığma Miktarları için SY, ÜSA ve İKY Yaklaşımlarının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması ($d_0=11\text{mm.}$, $L_y=25.5\text{mm.}$, $T=T_{oda}$, Malzeme:Kurşun)



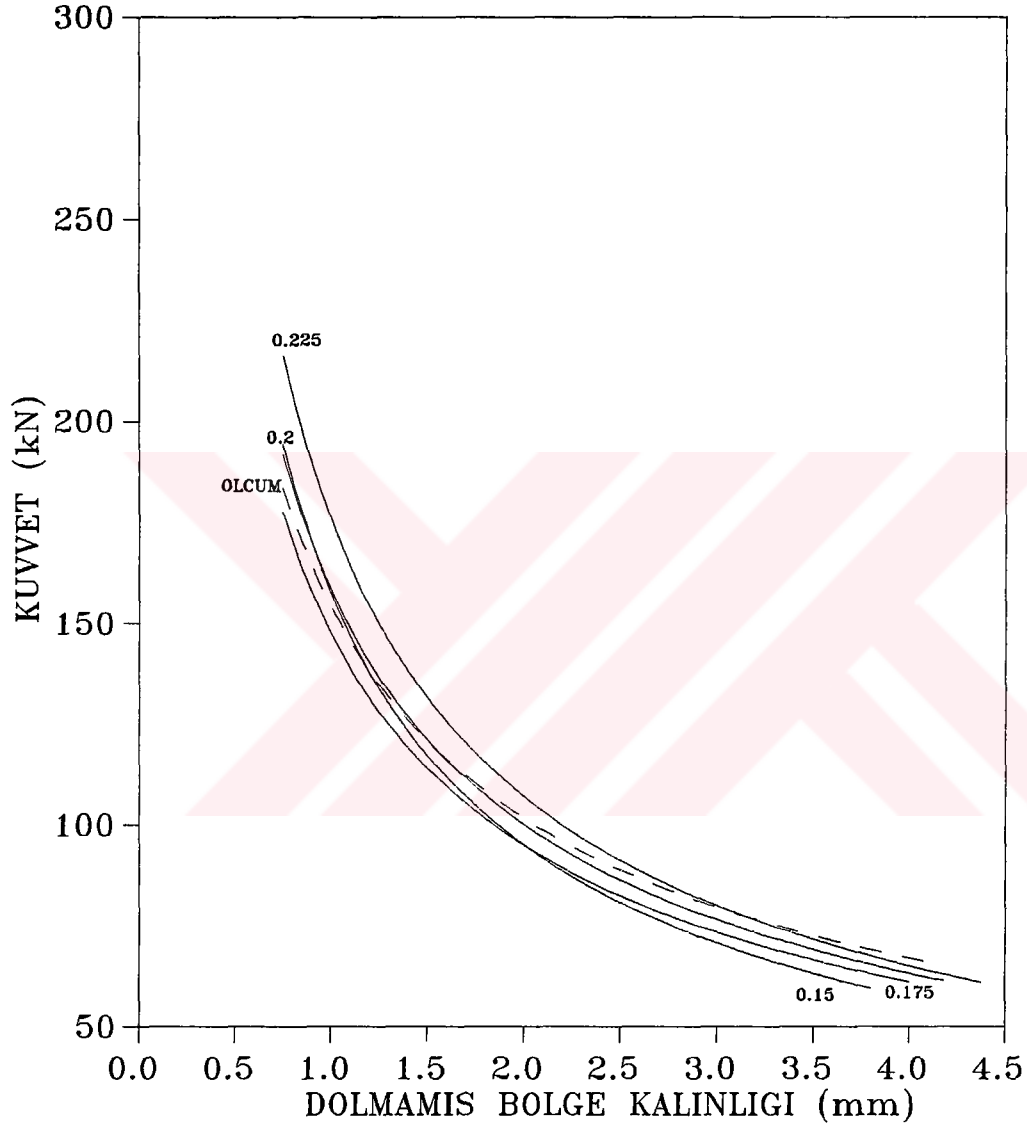
Şekil 6.21. Farklı Yığma Miktarları için SY, ÜSA ve İKY Yaklaşımlarının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması ($d_o=11\text{ mm}$., $L_y=25.5\text{ mm}$., $T=T_{oda}$, Malzeme:Kurşun)



Şekil 6.22. Farklı Yığma Miktarları ve Farklı Sürtünme Katsayıları için Serbest Yığma(SY) Yaklaşımının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması ($d_o=11\text{mm.}$, $L_y=25.5\text{mm.}$, $T=T_{oda}$, Malzeme:Kurşun)



Şekil 6.23. Farklı Yığılma Miktarları ve Farklı Sürtünme Katsayıları için İnce Kesitlerin Yığılması (İKY) Yaklaşımının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması ($d_o=11\text{mm.}$, $L_y=25.5\text{mm.}$, $T=T_{oda}$, Malzeme:Kurşun)



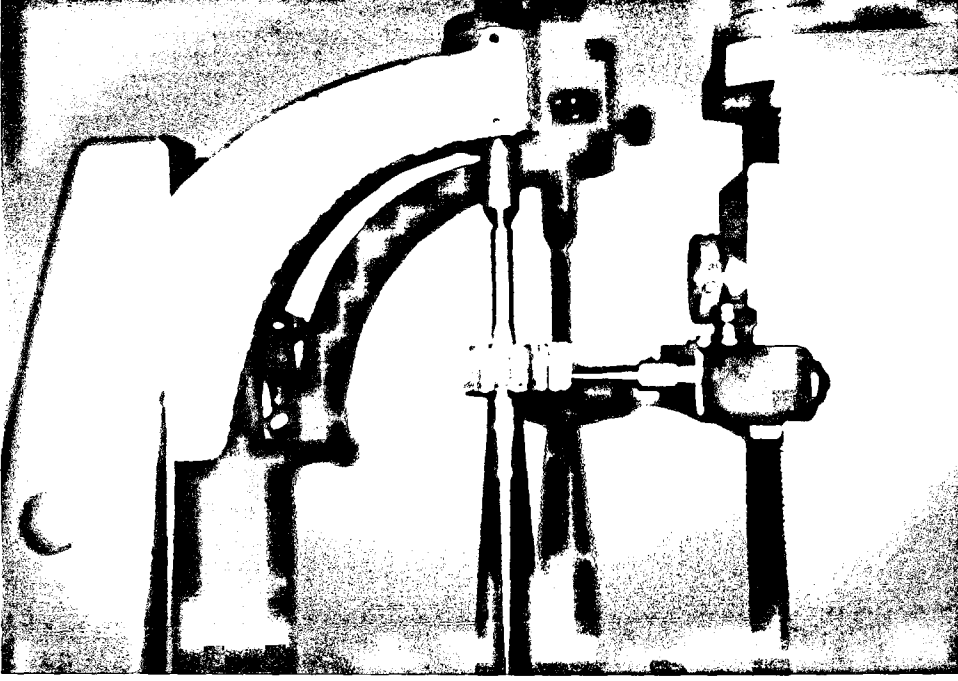
Şekil 6.24. Farklı Yığılma Miktarları ve Farklı Sürtünme Katsayıları için Üst Sınır Analizi (ÜSA) Yaklaşımının Kuvvet Ölçüm Değerleriyle Karşılaştırılması ($d_o=11\text{mm.}$, $L_y=25.5\text{mm.}$, $T=T_{oda}$, Malzeme:Kurşun)

6.1.3. Evolvent Profili ve İstikamet Sapması Ölçüm Sonuçları

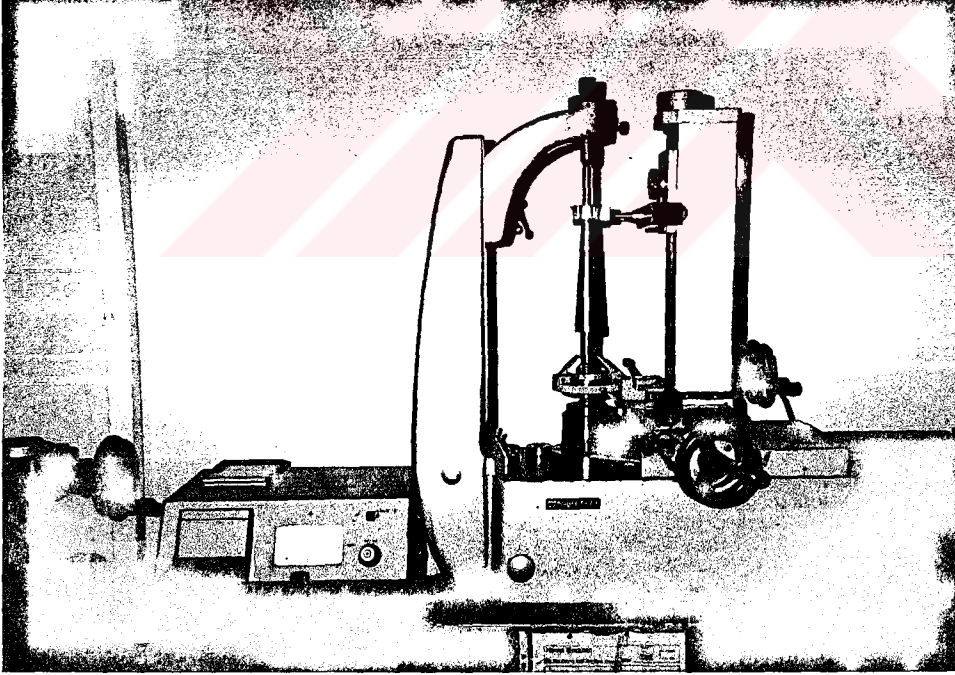
Yığılmış taslaklar, talaşlı işlenip dişli haline getirildiğinde destekleyen kuruluşun rutin ölçümlerinden olan evolvent profili ve istikamet sapması deneylerine tabi tutulmuştur. Evolvent profil ölçümü temel olarak, test cihazında kalibrasyonlu haldeki mükemmel bir profil ile mevcut dişlinin profili arasındaki farkı belirleyen bir testtir. Yapılan evolvent profil ölçümleri sonucunda tüm dişlilerin tolerans sınırları dahilinde olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu ölçüm biçiminin destekleyen kuruluşun ticari sırrı olması dolayısıyla ayrıntıya inilemeyecektir.

İstikamet ölçümü ise mevcut dişli çarkın ekseni ile gerçekte olması gereken eksen arasındaki farkın yani parçanın eksenel simetrikliğinin ölçüldüğü bir testtir. İstikamet ölçüm ve evolvent profil testi Şekil 6.25.a'da gösterilen Goulde Micron marka test cihazında gerçekleştirilmiş ve yine Şekil 6.25.b'de gösterilen Taylor-Hobson marka Talymic 4-10 model yazıcıdan çıkış alınmıştır. Şekil 6.26.'te yazıcı çıkışından örnekler sunulmaktadır.

İstikamet ölçümleri ve evolvent profil testi için yığılmış kısmı en küçük ve en büyük olan 1. ve 6. tip dişli taslaklarından işlenen çarkların ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 6.3.'te verilmiştir.

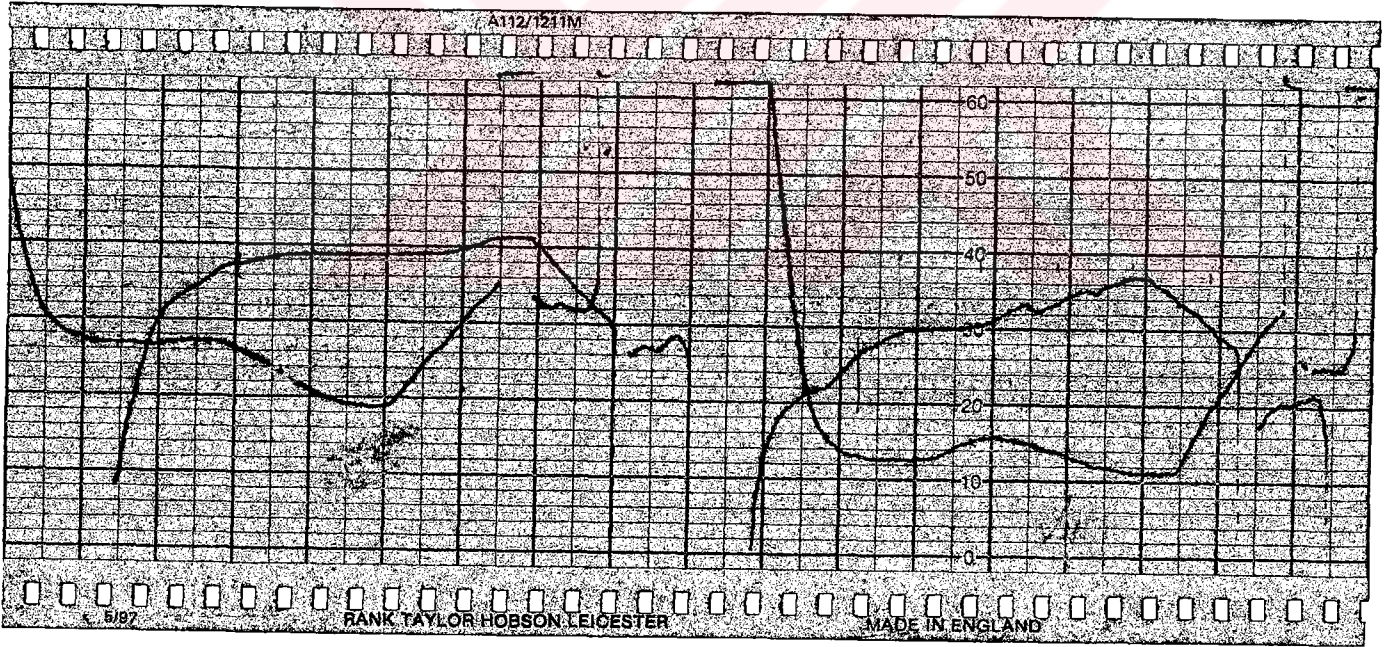
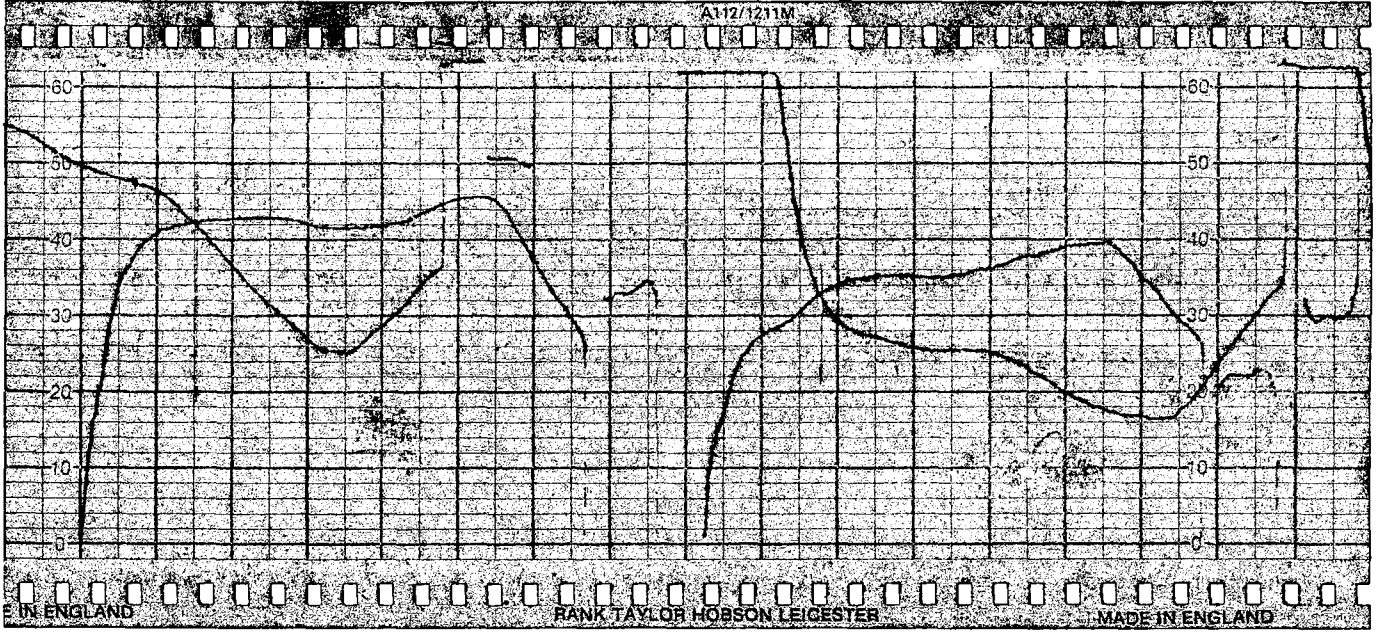


a



b

Şekil 6.25. a) Evolvent Profil ve İstikamet Ölçüm Test Cihazı b) Yazıcı



Şekil 6.26. Yazıcı Çıkışından Örnekler

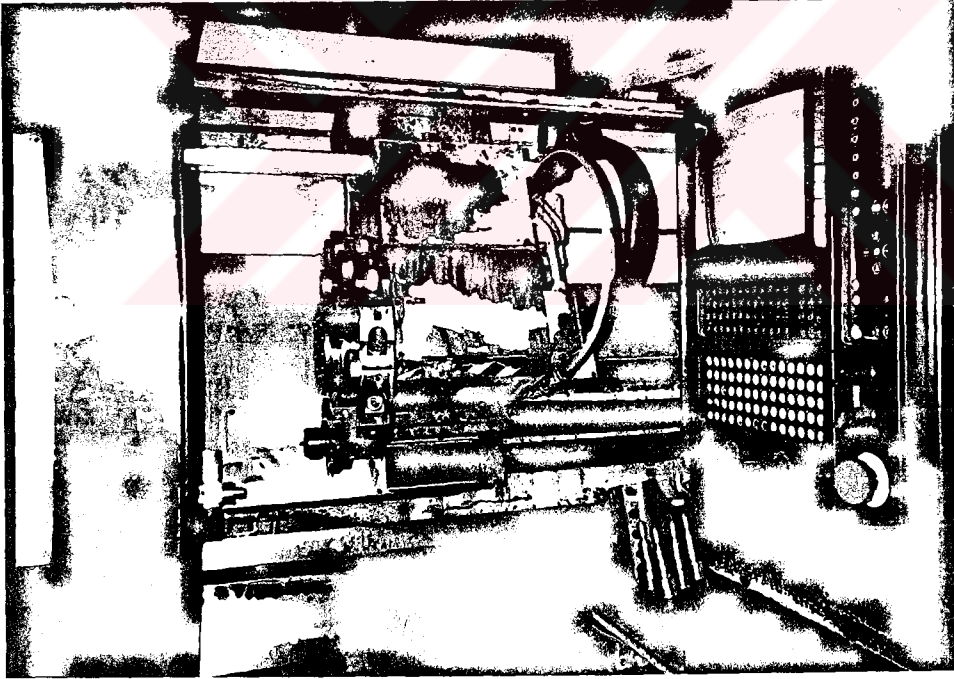
Tablo 6.3. 1. ve 6. Tip Pompa Dişlileri için Evolvent Profil ve İstikamet Ölçüm Sapması Sonuçları

Pompa Tipi	Evolvent Profil Sapması				İstikamet Sapması	
	Isıl İşlem Öncesi		Isıl İşlem Sonrası		Isıl İşlem Öncesi	Isıl İşlem Sonrası
	Sağ Yanak (μm)	Sol Yanak (μm)	Sağ Yanak (μm)	Sol Yanak (μm)	Öncesi (μm)	Sonrası (μm)
1. Tip Pompa Dişlisi	4	6	6	8	2	4
	5	4	8	6	1	3
	5	7	6	4	2	2
	3	3	12	8	2	5
	1	5	10	5	3	6
	2	1	10	12	2	2
	7	3	12	8	2	4
6. Tip Pompa Dişlisi	3	3	12	16	3	3
	3	2	10	10	4	5
	3	3	16	12	2	2
	2	8	8	8	3	4
	4	6	10	6	3	3

Tablolar incelendiğinde dişli profilinde küçük sapmaların olduğu görülebilir ancak genelde çok önemli değişiklikler yoktur. Isıl işlemin etkisi, dişli genişliğinin fazla olduğu 6. tip dişlilerde daha belirgin olmakla birlikte sapmalar tolerans sınırları dahilinde kalmaktadır.

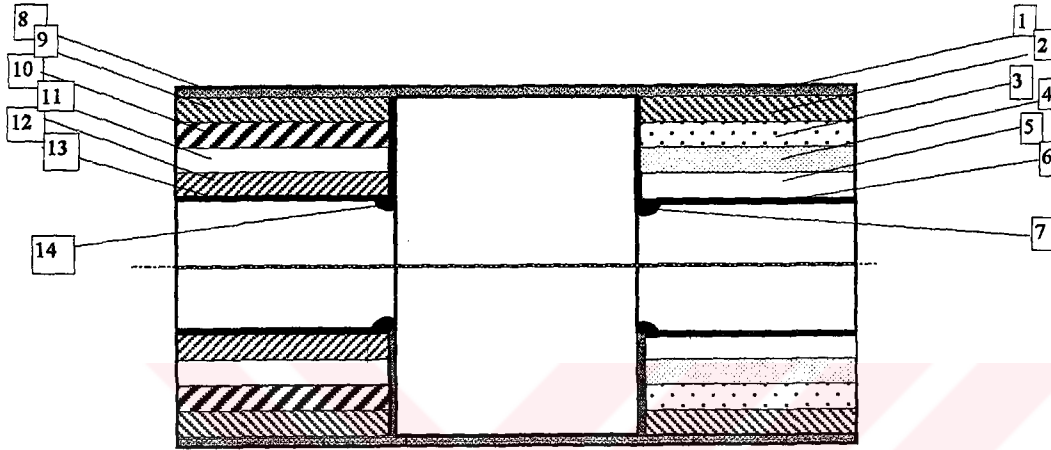
6.1.4. Zaman ve Maliyet Analizleri

Destekleyen kuruluşta dişli taslakları diş üstü çapında daha büyük çaptaki bir kütükten CNC tornalarda işlenmekte ve parçalar azdırma tezgahına girecek boyutlarına getirilmektedir. Parçaların işlendiği Niles marka DSt2/1 model CNC tezgahının resmi Şekil 6.27.'de gösterilmektedir.



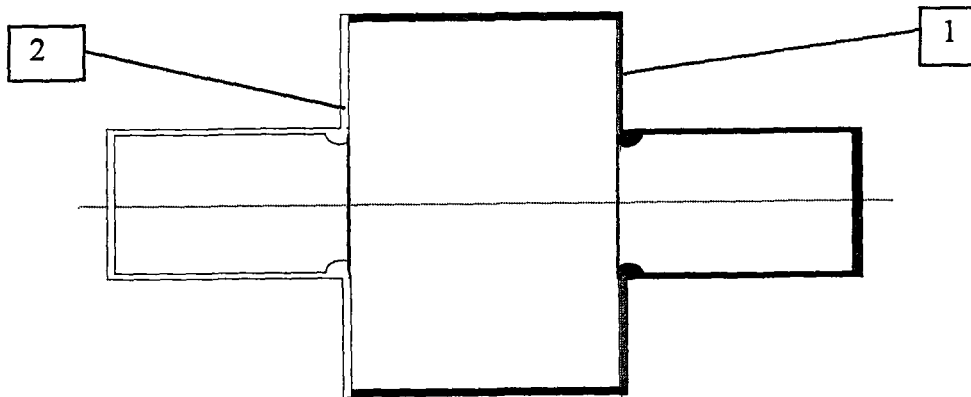
Şekil 6.27. Taslakların İşlendiği CNC Tezgahları

Numuneler CNC tezgahlarında Şekil 6.28.'de gösterilen finiş talaşlı işleme operasyonlarını geçirmektedir.



Şekil 6.28. Talaşlı Şekil Verme Yöntemi için Talaş Pasoları

Şekil 6.28.'de gösterilen 1-7 numaralı işlemler sağ taraf işlemedeki operasyonlarını, 8-14 numaralı işlemler ise sol taraf işlemedeki operasyonları göstermektedir. Buna karşılık Şekil 6.29. ise yığmayla üretilmiş parçaların taslak haline getirilebilmesi için yapılması gereken talaşlı işlemeyi göstermektedir.



Şekil 6.29. Yığma ile Üretilmiş Parçada Talaş Pasoları

Burada 1 sağ taraf işlemede ve tek pasoda alınması öngörülen talaşı, 2 ise yine tek pasoda bitmesi öngörülen sol taraf işlemeyi göstermektedir. Yukarıda yapılan açıklamalar ışığında, her iki yöntem için CNC-Tornada yapılan talaşlı işleme operasyonlarının adımları ve tezgah hızları kullanılarak hesaplanan süreler bir zaman etüdü haline getirildiğinde kütükten talaşlı işleme ile üretilen bir taslak için ortalama olarak **455 sn** işleme zamanı gerekmektedir. Yığma yöntemi ile üretilmiş taslaklarda ise bu zaman ortalama olarak **223 sn** olarak hesaplanmıştır. Her iki yöntem arasındaki işleme zamanı farkı $455 - 223 = 232$ sn veya yaklaşık olarak 4 dakika kadar dövmenin lehinde olarak gerçekleşmektedir. Zaman etüdüne ek olarak seçilen pompa tiplerinde hesaplanan malzeme kayıpları Tablo 6.4.'da verilmiştir.

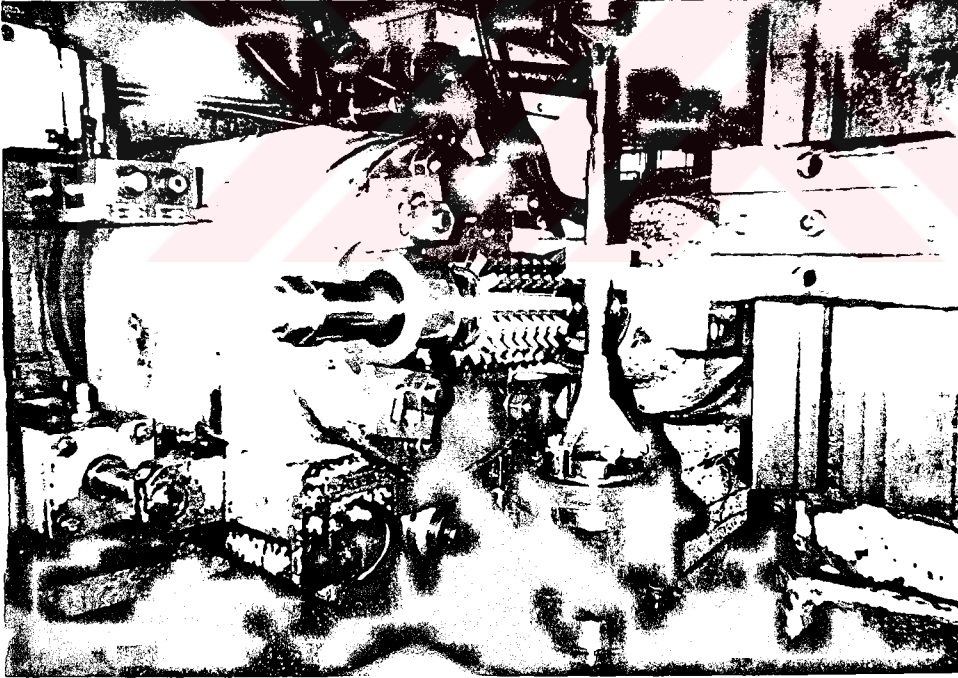
Tablo 6.4. Kütükten Tornalama ve Dövme Taslaktan Tornalama için Malzeme Kayıpları

Pompa Tipi	$M_{kütük}$ (gr) (1 Dişli çifti için)	$M_{dövme}$ (gr) (1 Dişli çifti için)	$M_{kütük} - M_{dövme}$ (gr) (1 Dişli çifti için)
1. Tip	1643	462	1181
2. Tip	1812	548	1264
3. Tip	1780	560	1220
4. Tip	1846	627	1219
5. Tip	1913	690	1223
6. Tip	2537	1031	1506
TOPLAM	11531	3918	7613

Tablo değerleri incelendiğinde 6 tip pompa dişlisinden birer çift yapılması durumunda 42mm çaplı kütüklerden tornalamaya başlama yerine önerilen dövme taslakların kullanılması halinde $M_{kütük} - M_{gerçek} = 11531 - 3918 = 7613$ gr. talaş kaybı

ortadan kaldırılmış olmaktadır. İncelenen pompa tiplerindeki malzeme kazançlarının ortalaması alındığında $(M_{kütük} - M_{dövme}) / 6 \cong 1269 \text{ gr}$ olmaktadır. Bu pompaların, destekleyen kuruluşun üretim hacmi içinde yıllık olarak toplam 100.000 adetlik yer kapladığı göz önüne alındığında yıllık olarak yaklaşık 127 ton' luk bir malzeme tasarrufu sağlanmış olmaktadır ki talaşlı şekillendirilecek parçaların dövme yoluyla ön şekillendirilmesinin ülke ekonomisine yapacağı katkının boyutları hakkında bir fikir verebilir.

CNC tezgahlardan çıkan taslaklar Şekil 6.30.'da gösterilen Churchill marka azdırma tezgahlarına, oradan ısıtılma ve son olarak ta Şekil 6.31.'de gösterilen Studer S40 marka mıyılı ve yanak taşlama tezgahlarına girerek finiş boyutlarına getirilmektedir.



Şekil 6.30. Taslakların Dişli Haline Getirildiği Azdırma Tezgahları



Şekil 6.31. Mıyılı ve Yanak Taşlama Tezgahı

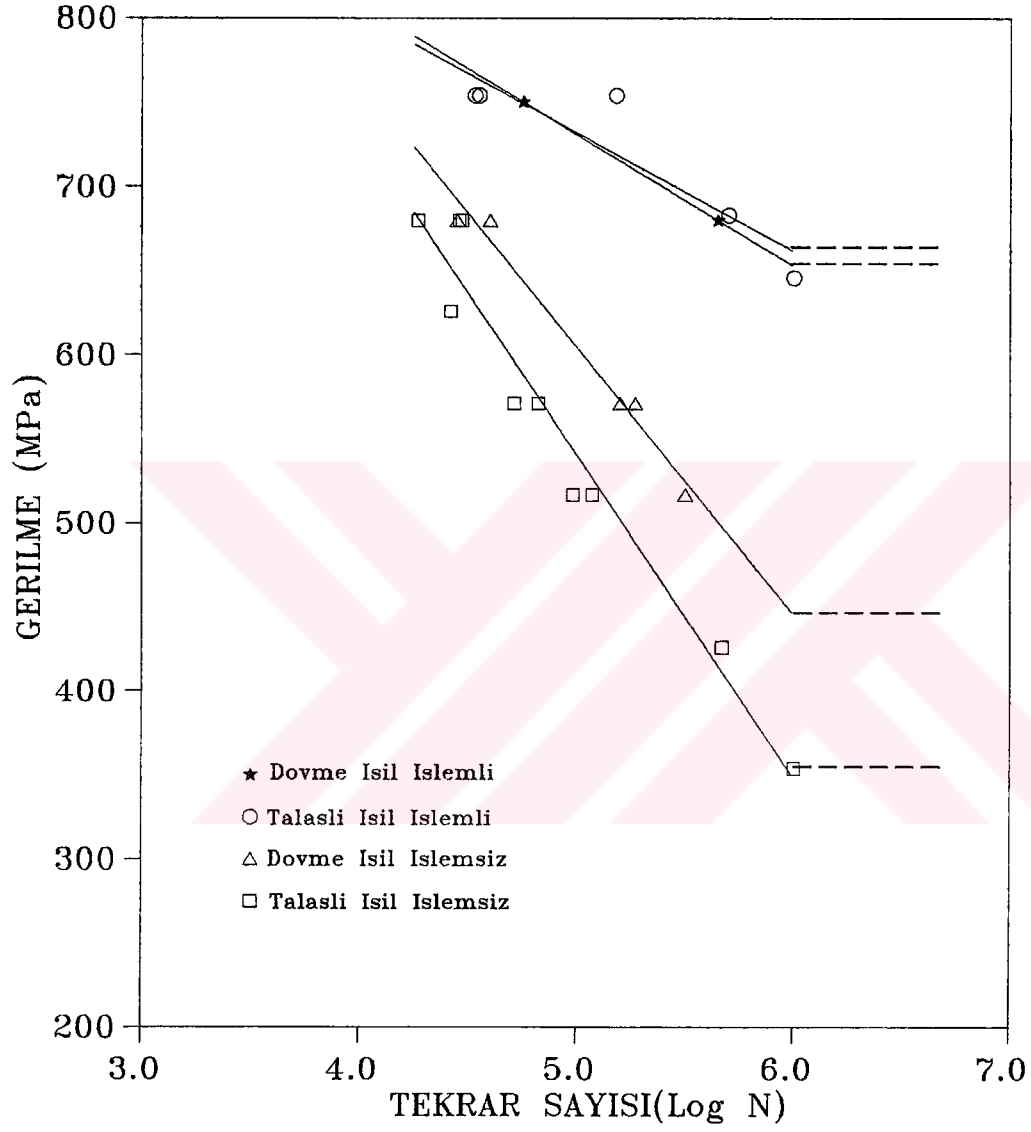
6.1.5. Eğilme Yorulması Deneyi Sonuçları

Plastik şekil verilerek elde edilmiş dişliler ile talaşlı işleme sonucunda elde edilmiş dişliler arasındaki eğilme yorulması açısından farkları incelemek amacıyla Bölüm 4'te bahsedilen eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numunelere uygulanacak eğilme gerilmesi değerleri, gerek yapılan çekme deneyi sonuçları ve gerekse literatürle karşılaştırma kolaylığı için önceki çalışmalar(Aydoğdu, M.,1997) doğrultusunda 350, 425, 525, 575, 625, 675, 725 ve 750 MPa olarak belirlenmiş ancak dişli boyutları ve hesap sonucunda çıkan sayıların yuvarlanması sonucu değişken kuvvet ve Şekil 4.17'de gösterilen tek dişe gelen gerilme değerleri aşağıdaki tablodaki gibi oluşmuştur.

Tablo 6.5. Yorulma Numunelerine Uygulanan Kuvvet ve Eğilme Gerilmesi Değerleri

Tezgah Eğilme Kuvveti(F) (kN)	Tek Diş Max. Eğilme Kuvveti (F _t) (kN)	Diş dibi Eğilme Gerilmesi (MPa)
-5 ± 4.75	4.875	354
- 6 ± 5.75	5.875	426
- 7.25 ± 7	7.125	517
- 8 ± 7.75	7.875	571
- 8.75 ± 8.5	8.625	625
- 9.5 ± 9.25	9.375	680
- 10 ± 9.75	9.875	720
- 10.5 ± 10.2	10.35	750

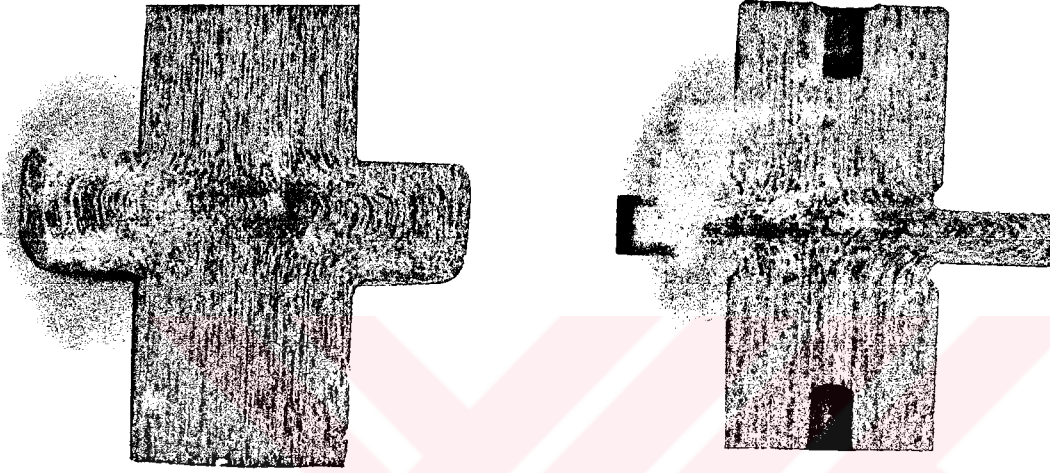
3.tip deney parçalarına uygulanan eğilme yorulması deneyleri sonucunda ısıtılmış ve ısıtılmamış hallerin karşılaştırılması ile tüm grupların bir arada çizilmiş Wöhler diyagramları Şekil 6.32'de verilmiştir. Diyagramlardan da görüldüğü üzere özellikle ısıtılmamış talaşlı imalat dişli ile yığılarak taslak haline getirilmiş



Şekil 6.32. Yorulma Deneyine Tabi Tutulan Deney Parçalarının Wöhler Diyagramları

dişli parçaları arasında yorulma dayanımı açısından önemli farklar mevcuttur. Dövülmüş taslaklardan dövme sonrası ve bunların talaşlı işlenerek diş açılmış olanlarından bazı numunelerde akma çizgileri ortaya çıkarılarak(Akata,1987) malzeme akışları incelenmiştir(Şekil 6.33). Dişlerin açıldığı bölgedeki dövme lif yapısı yorulma dayanımını arttırmaktadır.

Neden



a) Tek Kademedede Dövülmüş Dişli Taslağı ve Bitmiş Döndürülen Dişli Çark



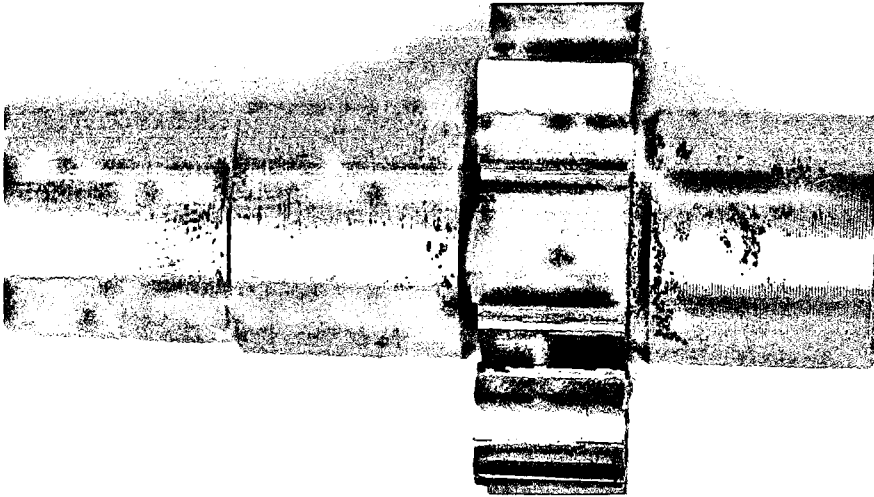
b) İki Kademedede Dövülmüş Dişli Taslağı ve Bitmiş Döndürülen Dişli Çark

Şekil 6.33 Dövülmüş Deney Parçalarında Malzeme Akışı.

Buna karşılık ısıtıl işlem sonucunda her iki şekilde imal edilmiş numuneler arasında gözle görünür bir fark olmadığı açıktır. Destekleyen kuruluştaki dişli sertleştirme yöntemi olarak uygulanan “sementasyon” sırasındaki yüksek sıcaklık(930°C) ve süre(6 – 8 saat), dövme yoluyla sağlanan mikro yapıyı bozarak sağlanan avantajı da ortadan kaldırmaktadır. Uygulanan yorulma deneyleri sonucunda kırılan parçalardan ısıtıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış iki parçanın fotoğrafları Şekil 6.34’te verilmiştir. Beklendiği gibi yumuşak parçalarda dişli kırılır ama kopmazken sert parçalarda kopmalar gerçekleşmiştir.



a)Sementasyon İşlemi Uygulanmış Dövülmüş Parça ve Kırık Dişi



b) Sementasyon İşlemi Uygulanmamış Dövülmüş Parça

Şekil 6.34 Yorulma Numunelerinin Deney Sonrası Görünüşleri.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bilindiği gibi makine parçalarının üretiminde birçok üretim yöntemi geliştirilmiştir. Çoğunlukla aynı makine parçası farklı üretim yöntemiyle elde edilebilir. Bu durumda hangi üretim yönteminin en uygun olduğuna karar verilmesi, başka bir deyişle de üretim yöntemi optimizasyonu ile karşı karşıya kalınır.

Üretim yöntemi optimizasyonunda parça malzemesi, yüzey kalitesi ve toleranslar, parçadan beklenen mekanik özellikler, üretilecek parça sayısı, ilk yatırım masrafları gibi kriterler göz önünde bulundurularak seçim yapılır. Bir firma için belirlediği ve uzun bir süre boyunca uyguladığı bir üretim yöntemini terk etmesi oldukça güç olduğundan bu seçimin başlangıçta çok iyi yapılması gerekir. Sunulan tez konusu, bir firmanın Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı'na sunmuş olduğu ve yürüttüğü bir projenin ilk aşaması olarak gerçekleştirilmiştir. Firmada kütükten tornalama yoluyla üretilen dişli pompa dişli taslakları, esnek üretim koşullarını da sağlayacak şekilde tasarlanan kalıplar yardımıyla, kapalı kalıpla yığma yöntemi ile üretilmiş ve her iki yöntem malzeme kayıpları, üretim zamanları, işlenmiş dişli boyutlarına etkileri ve yorulma dayanımları bakımlarından karşılaştırılmıştır. Seri üretim koşullarında ve laboratuvar şartlarında gerçekleştirilen deneylerde parçaların dövülerek üretilmesiyle ilgili pres kapasitesini tespit etmek amacıyla kuvvet yaklaşımları uygulanmış ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Seri üretim koşullarında yürütülen dövme deneylerinde ölçülen kuvvetler ile serbest yığma ve Üst Sınır Analizi (ÜSA) yaklaşımları sonucunda hesaplanan kuvvetlerin bir arada gösterildiği diyagramlar incelendiğinde serbest yığma yaklaşımının beklendiği gibi daima ölçülenlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum gravürün dolduğu sıralarda kalıp yan cidarlarına yaslanmanın etkilerinin belirtilen yaklaşımda dikkate alınmamasından kaynaklanmaktadır. Buna rağmen aradaki farklar büyük olmadığından, en azından yaklaşık olarak pres kapasitesi seçiminde

kullanılabilecek durumdadır. ÜSA yaklaşımına göre hesaplanan kuvvetlerin, ölçülenlere kıyasla daha yüksek olması beklenirken bazı taslaklarda daha düşük kuvvet değerleri de elde edilmiştir. Söz konusu yaklaşımdaki kuvvet değerleri, başlangıçta bir takım kabuller yapılarak ve ilgili literatür doğrultusunda hız alanları önerilerek elde edilmiştir. Ek olarak deney esnasında sıcaklık, sürtünme koşulları gibi parametreler değişmektedir. Parça geometrisi itibarıyla köşeler tam olarak dolmadan, kalıp yan cidarı ile malzeme temas etmekte ve bu hem malzemenin soğuyarak akma sınırının yükselmesine, hem de sürtünmenin artmasına yol açmaktadır. Bu da bazı taslaklarda ölçülen kuvvetin hesapla bulunandan fazla olmasını sağlamaktadır. Literatürde ÜSA yöntemi ile yapılan araştırmalarda da yöntem bazen işlemin sonunda ölçülen kuvvetlerin altında sonuç verebilmektedir (El-Domiaty 1998, Vickery 1995). Belirtilen yaklaşımın yukarıda anılan değişen sıcaklık ve sürtünme faktörlerini deformasyon süresince dikkate alacak şekilde geliştirilmesi yararlı olacaktır.

Laboratuvar şartlarında hidrolik pres kullanılarak kurşun malzeme ile gerçekleştirilen deneylere ait diyagramlardan, kuvvet analizi ile ilgili olarak SY yaklaşımı yine beklendiği gibi daima ölçülenlere kıyasla daha düşük değerler verdiği anlaşılmaktadır. ÜSA ve İKY yaklaşımları ise gerek deneylerin oda sıcaklığında yapılması nedeniyle sıcaklık farklılığının bulunmamasından ve gerekse hesaplamalarda kullanılan hammadde boyutları, şekil değiştirme hızı gibi parametrelerin daha iyi kontrol edilebilmiş olması nedeniyle ölçülenlere daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

İKY yaklaşımında sürtünme şartları ve parça geometrisi Bölüm 5.4.1.'de verilen

3. durumu ($\mu < k$ fakat $\frac{R}{t} > \frac{1}{2\mu} \ln \frac{k}{\mu}$) sağlamaktadır. Böylece plakanın dış tarafına yakın

yüzeylerde kayma, içeride ise yapışma meydana gelir. Kalınlık azaldıkça r_{kr} büyük değerler almaya ve kuvvet giderek artmaya başlar. Kalıp yan cidarlarına temas başladıktan hemen sonra tahmini kuvvet, gerçekleşen kuvvetten daha büyük değerler

almaya başlar. Numunelerde dişli genişliğinde toplam 2 mm. işleme payı bırakıldığından $\mu=0.2$ ve 1 mm. dolmamış bölge kalınlığı için ÜSA sonuçları deneysel verilerle hemen hemen çakışmakta, İKY yaklaşımı %27 fazla vermektedir. $\mu=0.225$ ve 1 mm. dolmamış bölge kalınlığı için ÜSA sonuçları deneysel verilerden %12.5, İKY yaklaşımı ise %34 fazla vermektedir.

Zaman ve malzeme kaybı açısından talaşlı işlemeye göre daha avantajlı olduğu bilinen dövme yöntemi ile ilgili gerçek verilere bakıldığında bu fark iyice açığa çıkmaktadır. Taslak işlemede dövme yöntemi %50 oranında zamandan tasarruf sağlarken, 14 pasoda gerçekleştirilen işlem 2 pasoda yapıldığından kesici uç aşınması ve bunun sökölüp değiştirilmesi veya bilenmesi gibi zaman kayıplarını da oldukça azaltmıştır. Malzeme kaybı ise yaklaşık %90 oranında azaltılmıştır.

Önerilen üretim yönteminin parçalara sağlayabileceği mekanik özellikler, her iki üretim yöntemiyle elde edilen taslaklardan işlenen dişli çarklarda, diş tekrarlı eğilme yorulması yükleri uygulanarak incelenmiştir. Isıl işlem görmemiş dişliler için, beklendiği gibi kapalı kalıpta dövme fark edilebilir bir mukavemet artışı sağlamaktadır. Buna karşılık yüzey sertleştirme için uygulanan sementasyon işlemi sonrası bu fark beklendiği gibi ortadan kalkmaktadır.

Dişli pompa dişli çarkları üretimi ile ilgili amaçlanan bir diğer çalışma dişlilerin dövülerek elde edilmesidir. Bu konu ile ilgili tel erozyon tezgahlarında dişli dövme kalıbı ve ıstampası işlenerek Ulu-El Pres Döküm A.Ş.'de pirinç malzeme ile yapılan ön denemelerde sonuçlar umut vericidir. Çalışmayı destekleyen kuruluştaki taslaklar azdırma tezgahlarında iki kademede işlenmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda Şekil 3.10.'da verildiği üzere muylulu dişli döverek ikinci kademe azdırma işlemine girecek şekilde boyut elde etmek ve kuvvet analizini gerçekleştirmek amaçlanmaktadır. Bir sonraki amaç ise biraz zor görünmekle beraber direkt raspalama işlemine girecek dişli dövebilmektir.

KAYNAKLAR

ABDUL, N. A. and DEAN, T. A., “ An Analysis of the Forging of Spur Gears Form “, Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 26, pp. 113-123, 1986.

AKATA, H. E., Tübitak-TTGV Proje Pazarı Proje Önerileri Listesi, Pr. No.88, 1997.

AKATA, H. E., “ Çeliğin Dövülmesinde Kuvvet ve Malzeme Akışına Etkiyen Faktörlerin İncelenmesi “, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1987.

AKATA, H. E., ÇAN, Y. and ALTINBALIK, T., “ An Approach to Preform Design in the Closed-Die Forging “, ASME The Second Biennial European Conference on Engineering Systems Design and Analysis, London, England, pp.209-214., 1994.

AKATA, H. E., ŞAHİN, M. ve TAŞKIN V., “ Açık Kalıplarla Delmede Akma Gerilmesinin Delme Basıncı ve Malzeme Akışına Etkisi “, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.346-352., 1995.

ALTAN, T., and OH, G., “ Metal Forming-Fundamentals and Applications “, ASM Metals Park, OH 44073, 1983.

ALTINBALIK, T., “ Kapalı Kalıpla Dövme Modellemesi “, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995.

ARAN, A., “ Metal Döküm Teknolojisi “, Birsen Kitapevi, 1993.

AVITZUR, B., “ Metal Forming: Processes and Analysis “, McGraw-Hill Book Comp., New York, 1985.

AYDOĞDU, M., “ Dişli Taslakları Üretiminde Üretim Yöntemi Optimizasyonu “, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997.

BEER, F., JOHNSTON, E., “ Mechanics of Materials “, McGraw-Hill Book Comp., Second Edition, 1985.

BRAYDEN, L., MONAGHAN, J., “ An Analysis of Closed-Die Extrusion/Forging “, Journal of Materials Processing Technology, Vol.26, pp.141-157., 1991.

CHITKARA, N. R., KIM, Y., “ Upper Bound Analysis of Near-Net Shaped Forging of Gear Coupling Form “, International Journal of Mechanical Science, Vol.38, No.7, pp.791-803, 1996.

CHO, H.; CHOİ, J.; MIN, G.; CHOİ, Y. and CHOİ, J., “ An Upper Bound Analysis of the Closed-Die Forging of Spur Gears “, Journal of Materials Processing Technology, Vol.67, pp.83-88, 1997.

CHOİ, J. C.; CHOİ, Y.; HUR, K. D. and KIM, C. H., “ A Study on the Forging of Spur Gears “, International Journal of Mechanical Sciences “, Vol.38, pp.1333-1347, 1996.

ÇAN, Y., “ Incremental Metal Forming and Analysis of Tube Spinning “, PhD., University of Bath, Mechanical Engineering Department, Bath, U.K., 1998.

ÇAPAN, L. J., “ Metallere Plastik Şekil Verme “, Çağlayan Kitapevi, 1999.

ÇAPAN, L. J., “Dövme Teknolojisi “, Cilt 1, MMO Yayınları, Yayın No:128, 1988.

DUDLEY, D. W., “ The Evaluation of Gear Art “, AGMA paper, Washington DC, 1969.

EL-DOMIATY, A., SHABARA, M. and AL-ANSARY, M., “ Closed-Die Forging of Gear Like Elements “, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transaction of the ASME, Vol.120, pp.34-41, 1998.

EYERCİOĞLU, Ö., “ Develoment and Performance Analysis of Precision Forged Spur Gears “, PhD. Thesis, Dept. Of Mech. Engineering, The University of Birmingham, March, 1995.

GOETSCH, L. D., “ Modern Manufacturing Processes “, Thomson Inf./Publishing Group, Çağlayan Kitapevi, 1991.

GROVER, O. P. and JUNEJA, B. L., “ Analysis of Closed-Die Forging of Gear Like Elements “, Advanced Technology of Plasticity, II, pp. 888-893, 1984.

LANGE, K., “ Handbook of Metal Forming “, McGraw-Hill Book Comp., 1985.

MONAGHAN, J. and BRAYDEN, L., “ An Analysis of Closed-Die Extrusion Forging Process ”, Proceeding IMC-6, Dublin City Univercity, pp. 310-332, 1989.

PLANCAK, M., BRAMLEY, A. and OSMAN, F., “ Non-Conventional Cold Extrusion”, Journal of Materials Processing Technology, Vol.34, pp.465-472., 1992.

PLANCAK, M.; VILOTIC, D.; VUJOVIC, V. and SKAKUN, P., “ Theoretical and Experimental Investigation of Cold Extrusion of Gear Like Elements “, Journal for Technology of Plasticity, Vol.21, pp.31-42, 1996.

SCHEY, J. A. and NEWNHAM, J. A., “ Effect of Die Composition on Lubrication in Metalworking “, Lubrication Engineering, Vol.26, pp.129-137, 1970.

SCHROEDER, W., WEBSTER, D. A., “ Press-Forging Thin Sections: Effect of Friction, Area and Thickness on Pressures Required “, ASME, Journal of Applied Mech., Vol.16, pp.289-294, 1949.

SHIGLEY, J. E., “ Mechanical Engineering Design “, McGraw-Hill Book Comp. Third Edition, Chapter 11, 1977.

SHIPLEY, R. J., “ Precision Forging “, Metals Handbook, Vol.14: Forming and Forging, American Society of Metals, Ohio, 1985.

SHIPLEY, E. E., “ Gear Failures “, Machine Design, December, pp. 152-162. 1967.

TAŞKIN, V., “ Eğri Eksenli Çubukların Eğilmesi ve Kapalı Kesitlerdeki Deformasyonlar “, Seminer, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995.

ULUKAN, L., ÖZSOY, T., “ Dişli Çark Mekanizmaları “, İ.T.Ü. Makine Fakültesi Yayınları, 1973.

VICKERY, J., MONAGHAN, J., “ An Upper Bound Analysis of a Forging-Extrusion Process “, Journal of Materials Processing Technology, Vol.55, pp.103-110, 1995.

WICK, C. H., “ Chipless Machining “, The Industrial Press, New York, 1960.

ÖZGEÇMİŞ

Tahir ALTINBALIK 1970 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini burada tamamladıktan sonra 1988 yılında girdiği Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1992 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl Yüksek Lisans eğitime başladı, 1993 yılında Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı. 1995 yılında Doktora eğitime başladı ve 1997 yılında Öğretim Görevlisi oldu. Halen bu görevine devam etmektedir.

Evli ve bir çocuk babası olan Tahir ALTINBALIK İngilizce bilmektedir.

